



电力工程设计手册



火力发电厂
供暖通风与空气调节设计

中国电力工程顾问集团有限公司 编著

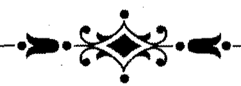
中国电力出版社

电力工程设计手册





电力工程设计手册



火力发电厂
供暖通风与空气调节设计

中国电力工程顾问集团有限公司　编著

Power
Engineering
Design Manual

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是《电力工程设计手册》系列手册中的一个分册，是按火力发电厂供暖通风与空气调节系统的设计要求编写的实用性工具书，可以满足火力发电厂各设计阶段供暖通风与空气调节系统设计的内容深度要求。主要内容包括火力发电厂供暖通风与空气调节系统的设计原则、设计要点、设计计算、系统设计、设备选择与布置、设计内外接口、设计注意事项等，并在相关章节中简要介绍了火力发电厂相关生产工艺过程。

本书是依据最新标准的内容要求编写的，充分吸纳了21世纪新型火力发电厂建设的先进理念和成熟技术，广泛收集了火力发电厂供暖通风与空气调节系统设计的成熟案例，全面反映了近年来新建和扩建火力发电厂工程中使用的供暖通风与空气调节及粉尘治理方面的新技术、新设备、新工艺，列入了大量成熟可靠的设计基础资料、技术数据和技术指标。

本书是从事火力发电厂供暖通风与空气调节设计、施工和运行管理人员的工具书，可作为其他行业从事供暖通风与空气调节专业设计人员的参考书，也可供高等院校供暖通风与空气调节专业的师生参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

电力工程设计手册．火力发电厂供暖通风与空气调节设计 / 中国电力工程顾问集团有限公司编著．—北京：中国电力出版社，2017.5

ISBN 978-7-5198-0191-5

Ⅰ.①电… Ⅱ.①中… Ⅲ.①火电厂—采暖设备—建筑设计—技术手册②火电厂—通风设备—建筑设计—技术手册③火电厂—空气调节设备—建筑设计—技术手册 Ⅳ.①TU271.1-62②TU83-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第310325号

出版发行：中国电力出版社
地　　址：北京市东城区北京站西街19号（邮政编码100005）
网　　址：http://www.cepp.sgcc.com.cn
印　　刷：北京盛通印刷股份有限公司
版　　次：2017年5月第一版
印　　次：2017年5月北京第一次印刷
开　　本：787毫米×1092毫米　16开本
印　　张：33.75
字　　数：1191千字
印　　数：0001—1500册
定　　价：179.00元

《电力工程设计手册》
编辑委员会

《电力工程设计手册》
秘书组

《火力发电厂供暖通风与空气调节设计》
编 写 组

主　　编 孙向军

参编人员 （按姓氏笔画排序）

王明国　卢柏春　朱德明　刘彦辉　刘爱勤　杨　光
杨　铭　李慢忆　李　巍　吴辰希　沈　艳　宋国俊
陈　进　陈彩霞　陈新国　周远琳　徐　钧　黄从新
翟金房

《火力发电厂供暖通风与空气调节设计》
编辑出版人员

编审人员 畅　舒　董艳荣　杨伟国　刘广峰　胡顺增

出版人员 王建华　李东梅　邹树群　黄　蓓　常燕昆　陈丽梅
马素芳　王红柳　赵姗姗

序言

改革开放以来，我国电力建设开启了新篇章，经过30多年的快速发展，电网规模、发电装机容量和发电量均居世界首位，电力工业技术水平跻身世界先进行列，新技术、新方法、新工艺和新材料的应用取得明显进步，信息化水平得到显著提升。广大电力工程技术人员在30多年的工程实践中，解决了许多关键性的技术难题，积累了大量成功的经验，电力工程设计能力有了质的飞跃。

党的十八大以来，中央提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念。习近平总书记提出了关于保障国家能源安全，推动能源生产和消费革命的重要论述。电力勘察设计领域的广大工程技术人员必须增强创新意识，大力推进科技创新，推动能源供给革命。

电力工程设计是电力工程建设的龙头，为响应国家号召，传播节能、环保和可持续发展的电力工程设计理念，推广电力工程领域技术创新成果，推动电力行业结构优化和转型升级，中国电力工程顾问集团有限公司编撰了《电力工程设计手册》系列手册。这是一项光荣的事业，也是一项重大的文化工程，对于培养优秀电力勘察设计人才，规范指导电力工程设计，进一步提高电力工程建设水平，助力电力工业又好又快发展，具有重要意义。

中国电力工程顾问集团有限公司作为中国电力工程服务行业的“排头兵”和“国家队”，在电力勘察设计技术上处于国际先进和国内领先地位。在百万千瓦级超超临界燃煤机组、核电常规岛、洁净煤发电、空冷机组、特高压交直流输变电、新能源发电等领域的勘察设计方面具有技术领先优势。中国电力工程顾问集团有限公司

还在中国电力勘察设计行业的科研、标准化工作中发挥着主导作用，承担着电力新技术的研究、推广和国外先进技术的引进、消化和创新等工作。

这套设计手册获得了国家出版基金资助，是一套全面反映我国电力工程设计领域自有知识产权和重大创新成果的出版物，代表了我国电力勘察设计行业的水平和发展方向，希望这套设计手册能为我国电力工业的发展作出贡献，成为电力行业从业人员的良师益友。

汪建平

2017年3月18日

总前言

电力工业是国民经济和社会发展的基础产业和公用事业。电力工程勘察设计是带动电力工业发展的龙头，是电力工程项目建设不可或缺的重要环节，是科学技术转化为生产力的纽带。新中国成立以来，尤其是改革开放以来，我国电力工业发展迅速，电网规模、发电装机容量和发电量已跃居世界首位，电力工程勘察设计能力和水平跻身世界先进行列。

随着科学技术的发展，电力工程勘察设计的理念、技术和手段有了全面的变化和进步，信息化和现代化水平显著提升，极大地提高了工程设计中处理复杂问题的效率和能力，特别是在特高压交直流输变电工程设计、超超临界机组设计、洁净煤发电设计等领域取得了一系列创新成果。“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念和实现全面建设小康社会奋斗目标,对电力工程勘察设计工作提出了新要求。作为电力建设的龙头，电力工程勘察设计应积极践行创新和可持续发展思路，更加关注生态和环境保护问题，更加注重电力工程全寿命周期的综合效益。

作为电力工程服务行业的“排头兵”和“国家队”，中国电力工程顾问集团有限公司是我国特高压输变电工程勘察设计的主要承担者，包括世界第一个商业运行的 1000kV 特高压交流输变电工程、世界第一个±800kV 特高压直流输电工程等；是我国百万千瓦级超超临界燃煤机组工程建设的主力军，完成了我国 70%以上的百万千瓦级超超临界燃煤机组的勘察设计工作，创造了多项“国内第一”，包括第一台百万千瓦级超超临界燃煤机组、第一台百万千瓦级超超临界空冷燃煤机组、第一台百万千瓦级超超临界二次再热燃煤机组等。

在电力工业发展过程中，电力工程勘察设计工作者攻克了许多关键技术难题，积累了大量的先进设计理念和成熟设计经验。编撰《电力工程设计手册》系列手册可以将这些成果以文字的形式传承下来，进行全面总结、充实和完善，引导电力工程勘察设计工作规范、健康发展，推动电力工程勘察设计行业技术水平提升，助力勘察设计从业人员提高业务水平和设计能力，以适应新时期我国电力工业发展的需要。

2014 年 12 月，中国电力工程顾问集团有限公司正式启动了《电力工程设计手册》系列手册的编撰工作。《电力工程设计手册》的编撰是一项光荣的事业，也是一项艰巨和富有挑战性的任务。为此，中国电力工程顾问集团有限公司和中国电力出版社抽调专人成立了编辑委员会和秘书组，投入专项资金，为系列手册编撰工作的顺利开展提供强有力的保障。在手册编辑委员会的统一组织和领导下，700 多位电力勘察设计行业的专家学者和技术骨干，以高度的责任心和历史使命感，坚持充分讨论、深入研究、博采众长、集思广益、达成共识的原则，以内容完整实用、资料翔实准确、体例规范合理、表达简明扼要、使用方便快捷、经得起实践检验为目标，参阅大量的国内外资料，归纳和总结了勘察设计经验，经过几年的反复斟酌和锤炼，终于编撰完成《电力工程设计手册》。

《电力工程设计手册》依托大型电力工程设计实践，以国家和行业设计标准、规程规范为准绳，反映了我国在特高压交直流输变电、百万千瓦级超超临界燃煤机组、洁净煤发电、空冷机组等领域的最新设计技术和科研成果。手册分为火力发电工程、输变电工程和通用三类，共 31 个分册，3000 多万字。其中，火力发电工程类包括 19 个分册，内容分别涉及火力发电厂总图运输、热机通用部分、锅炉及辅助系统、汽轮机及辅助系统、燃气-蒸汽联合循环机组及附属系统、循环流化床锅炉附属系统、电气一次、电气二次、仪表与控制、结构、建筑、运煤、除灰、水工、化学、供暖通风与空气调节、消防、节能、烟气治理等领域；输变电工程类包括 4 个分册，内容分别涉及变电站、架空输电线路、换流站、电缆输电线路等领域；通用类包括 8 个分册，内容分别涉及电力系统规划、岩土工程勘察、工程测绘、工程水文气象、集中供热、技术经济、环境保护与水土保持和职业安全与职业卫生等领域。目前新能源发电蓬勃发展，中国电力工程顾问集团有限公司将适时总结相关勘察设计经验，

编撰新能源等系列设计手册。

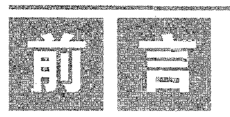
《电力工程设计手册》全面总结了现代电力工程设计的理论和实践成果，系统介绍了近年来电力工程设计的新理念、新技术、新材料、新方法，充分反映了当前国内外电力工程设计领域的重要科研成果，汇集了相关的基础理论、专业知识、常用算法和设计方法。全套书注重科学性、体现时代性、增强针对性、突出实用性，可供从事电力工程投资、建设、设计、制造、施工、监理、调试、运行、科研等工作者使用，也可供相关教学及管理工作者参考。

《电力工程设计手册》的编撰和出版，是电力工程设计工作者集体智慧的结晶，展现了当今我国电力勘察设计行业的先进设计理念和深厚技术底蕴。《电力工程设计手册》是我国第一部全面反映电力工程勘察设计的系列手册，难免存在疏漏与不足之处，诚恳希望广大读者和专家批评指正，如有问题请向编写人员反馈，以期再版时修订完善。

在此，向所有关心、支持、参与编撰的领导、专家、学者、编辑出版人员表示衷心的感谢！

《电力工程设计手册》编辑委员会

2017年3月10日



前言

《火力发电厂供暖通风与空气调节设计》是《电力工程设计手册》系列手册之一。

本书是在总结新中国成立以来，特别是2000年以后火力发电厂供暖通风与空气调节设计、施工、运行管理经验的基础上，充分吸收了21世纪火力发电厂建设和运行管理的先进理念和成熟技术，广泛收集了火力发电厂供暖通风与空气调节系统设计的成熟先进案例，全面反映了近年来新建火力发电厂工程中使用的供暖通风与空气调节及粉尘治理方面的新技术、新设备、新工艺，对提高火力发电厂供暖通风与空气调节设计质量，提升设计水平，实现火力发电厂供暖通风与空气调节系统设计的标准化、规范化，促进绿色、节能、环保型火力发电厂建设将起到指导作用。

本书以实用性为主，按照现行相关规范、标准的内容规定，结合火力发电厂供暖通风与空气调节系统的特点，以工艺系统或建筑物为基本单元，分别论述了各个系统的设计原则、设计要点、设计计算方法、系统确定原则、设备选型及其布置、相关设计图纸内容、设计内外接口等。为使暖通专业技术人员了解火力发电厂相关生产工艺，科学合理地确定供暖通风与空气调节系统设计方案，本书相关章节中简明扼要地介绍了火力发电厂相关生产工艺过程。

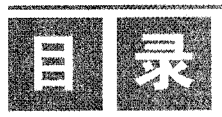
本书主编单位为中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司，参加编写的单位有中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司、中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司等。本书由孙向军担任主编，负责总体框架设计和校稿，并编写前言、第一章、参考文献等；吴辰希编写第二章；刘爱勤编写第三章；卢柏春、周远琳、刘彦辉、王明国编写第四章；黄从新、陈新国、宋国俊编写第五章；杨铭编写第六、十章；陈进、朱德明、沈艳编写第七章；李慢忆、杨光编写第八章；徐钧编写第九章；李巍、陈彩霞编写第十一章；李慢忆编写第十

本书是从事火力发电厂供暖通风与空气调节设计、施工和运行管理人员的工具书，可以满足火力发电厂前期工作、初步设计、施工图设计等阶段的深度要求。本书也可作为其他行业从事供暖通风与空气调节专业设计人员的参考书，也可供高等院校供暖通风与空气调节专业的教师和学生参考使用。

在本书的编写过程中，参考了《火力发电厂及变电所供暖通风空调设计手册》（2001 年中国电力出版社出版）的数据和资料，在此向《火力发电厂及变电所供暖通风空调设计手册》的编写人李善化、康慧、杨涤尘、李静海、李刚表示由衷的感谢。

《火力发电厂供暖通风与空气调节设计》编写组

2017 年 2 月



目录

第一章

综　　述

第一节　火力发电厂简介

一、发电厂的基本分类

发电厂是生产电能的工厂。发电厂的种类较多，目前主要有火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、新能源发电（如生物质发电、风力发电、太阳能光伏发电、太阳能光热发电、海洋潮汐发电）厂等。我国拥有上述各种类型的发电厂。

二、火力发电厂的类型

火力发电厂是利用煤、石油、天然气等作为燃料生产电能的工厂，它的基本生产过程是：燃料在锅炉中燃烧把水加热成蒸汽，将燃料的化学能转变成热能；蒸汽压力推动汽轮机旋转，将热能转换成机械能；汽轮机带动发电机旋转，再将机械能转变成电能。

关于火力发电厂的分类，目前在不同的国家有不同的分类方法。在我国，习惯上按以下条件进行分类：

（1）按使用燃料种类分。可分为燃煤发电厂、燃油发电厂、燃气发电厂、余热发电厂、以垃圾及工业废料为燃料的发电厂。

（2）按发电原动机分。可分为汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂、燃气-蒸汽联合循环发电厂、整体煤气化联合循环电站等。

（3）按输出能源种类分。可分为凝汽式发电厂（单纯发电）、热电厂（发电兼供热供冷等）。

（4）按蒸汽参数分。可分为低温低压发电厂（1.4MPa，350℃）、中温中压发电厂（3.92MPa，450℃）、高温高压发电厂（9.9MPa，535℃）、超高压发电厂（13.24MPa，535/535℃）、亚临界压力发电厂（16.7～17.8MPa，538/538℃）、超临界压力发电厂（24.2MPa，566/566℃）、超超临界压力发电厂（25～31MPa，600/600～620℃）。

（5）按服务对象和范围分。可分为区域性发电厂、孤立式发电厂、自备电厂、分布式能源站等。

还有其他分类，比如，按发电厂的容量、发电厂的服务功能等进行归类。

我国是火力发电装机大国，长期以来火力发电一直是我国电力供应的主力军，火力发电的比重长期以来占据70%以上份额。

我国的一次能源资源储量贫乏，且不均衡，简要地概括为富煤、贫油、少气。我国目前的火力发电厂主要是以煤炭为燃料的燃煤发电厂，在我国的发电设备总装机容量中占到近七成的比重，是世界上最大的燃煤发电厂拥有国。

三、火力发电厂的主要生产工艺

（一）燃煤火力发电厂生产工艺

典型的燃煤火力发电厂的生产工艺主要由以下五个系统组成：

1. 燃料系统

燃煤火力发电厂的燃煤供应有多种渠道。根据煤源地距电厂的距离，以及通过技术经济论证后确定的最佳运输方式，可以通过海上运输、铁路运输、公路运输或皮带运输等方式运入电厂。燃料运输入厂后要选择适宜的卸煤装置，将燃煤卸到煤场等厂内储煤装置。电厂内上煤（运煤）系统通过皮带等输送装置，将储煤场（装置）内的原煤转运到燃烧装置。在此过程中，根据不同类型燃烧装置的要求，需对原煤进行破碎、制粉、炉前储存及入炉配送等。

2. 燃烧系统

燃料在锅炉等燃烧装置内燃烧后释放出热量，持续加热汽水系统，以确保热力系统循环做功。燃煤燃烧后的灰渣落入炉膛下面的渣斗内，通过除渣系统排出锅炉体外渣仓中。炉内高温热烟气沿锅炉的水平烟道和尾部烟道流动，通过热回收装置回收热量后进入除尘器；通过除尘器装置分离出粗、细灰，与锅炉底渣一起通过干式或湿式灰渣处理系统排入贮灰场，或灰渣综合利用装置进行再利用；通过脱销、脱硫和除尘后的洁净烟气在引风机的作用下通过烟囱排入大气。助燃用的空气由送风机送入装设在尾部烟道上的空气预热器内，利用热烟气加热空气。这样，一方面

使进入锅炉的空气温度提高，易于煤粉的着火和燃烧；另一方面也可以降低排烟温度，提高热能的利用率。对煤粉炉而言，从空气预热器排出的热空气分为两路，一路去磨煤机干燥和输送煤粉，另一路直接送入炉膛助燃。

3. 汽水系统

火力发电厂的汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器、高压加热器、低压加热器、除氧器、凝结水泵和给水泵等组成，包括汽水循环系统、化学水处理系统和冷却系统等。水在锅炉中被加热成蒸汽，再经过热器进一步加热后成过热蒸汽，然后通过主蒸汽管道进入汽轮机。蒸汽在汽轮机内不断膨胀做功，推动汽轮机的叶片高速转动，汽轮机带动发电机以及励磁系统将机械能转变成电能。为了进一步提高其热效率，通常从汽轮机的某些中间级后抽出做过功的部分蒸汽，用以加热给水。在现代大型汽轮发电机组中基本都采用这种给水回热循环。在超高压参数以上的发电机组中，通过采用再热循环，把做过一段功的蒸汽从汽轮机的高压缸的出口抽出，送到锅炉的再热器中再加热后引入汽轮机的中压缸继续膨胀做功。从中压缸送出的蒸汽，送入低压缸继续做功。在蒸汽不断做功的过程中，蒸汽压力和温度不断降低，最后排入凝汽器并被冷却水冷却，凝结成水。凝结水集中在凝汽器下部由凝结水泵打至低压加热器再经过除氧器除氧，给水泵将预加热除氧后的水送至高压加热器，经过加热后的热水进入锅炉，把水加热到过热的蒸汽，送至汽轮机做功。这样周而复始不断地循环做功。火力发电厂汽水系统中的蒸汽和凝结水，在热力循环过程中要经过许多的阀门等设备，不可避免地发生汽水损失，因此要不断向系统中补充经过化学处理过的除盐水。

4. 电气系统

电气系统由发电机及励磁系统、主变压器、高压配电装置、厂用电系统等组成。励磁系统向发电机转子提供直流励磁电流，蒸汽驱动汽轮发电机转子旋转产生旋转磁场，从而在定子绕组感应出电压及电流。电流一路经主变压器升压后通过高压配电装置送至电网，另一路经厂用变压器降压供应厂用电系统。

5. 控制系统

对现代火力发电厂，为保证其安全、可靠运行，火力发电厂通常要设置安全、先进、可靠的控制系统，实时地对电厂主辅机设备进行监视、控制和调节。

火力发电厂的基本控制方式有以下三种：

（1）就地控制。锅炉、汽轮机、发电机及辅助设备就地单独进行控制。这种方式适用于小型电厂。

（2）集中控制。将锅炉、汽轮机、发电机联系起来进行集中控制。例如，大型电厂采用的机、炉、电单元的集中控制。

（3）综合自动控制。将电厂的整个生产过程作为一个有机整体进行控制，以实现全盘自动化。

现代化电厂多采用程序控制，以提高自动化水平。程序控制是将生产过程中大量分散的操作，按辅机与热力系统的工艺流程划分为若干有规律的程序进行控制，并结合保护、联锁条件，使运行人员通过少数开关式按钮，即可由程控系统自动完成控制系统的操作。

燃煤火力发电厂的生产工艺流程如图 1-1 所示。

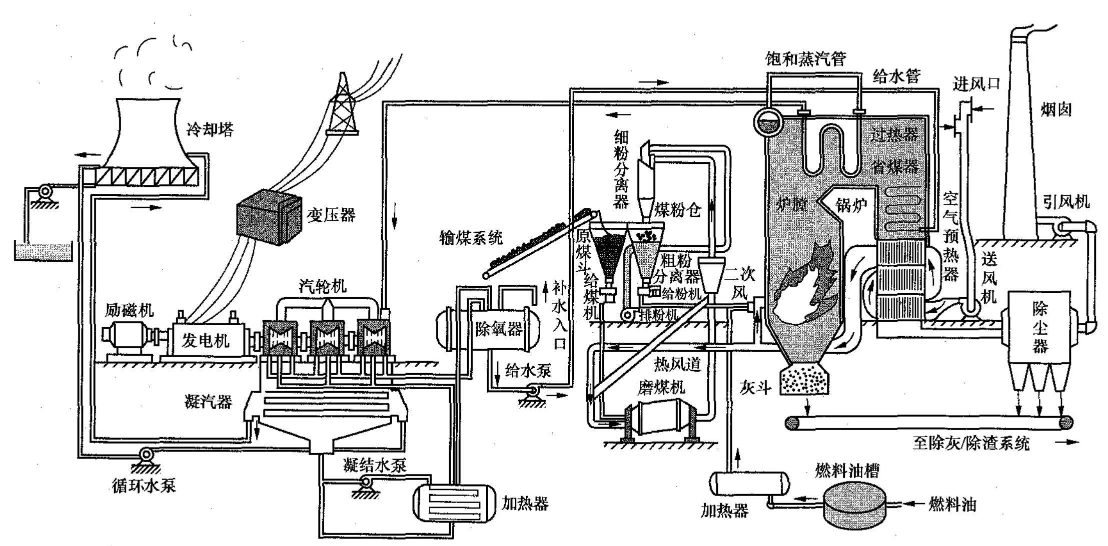


图 1-1 燃煤火力发电厂生产工艺流程图

（二）燃气-蒸汽联合循环发电厂生产工艺

燃气-蒸汽联合循环发电厂的种类很多，目前应用最多的、技术上最成熟的是燃用天然气或液体燃料的常规燃气-蒸汽联合循环。联合循环机组主要由燃气轮

机、余热锅炉、汽轮机、发电机以及相应的辅机系统组成，生产工艺流程如图 1-2 所示。

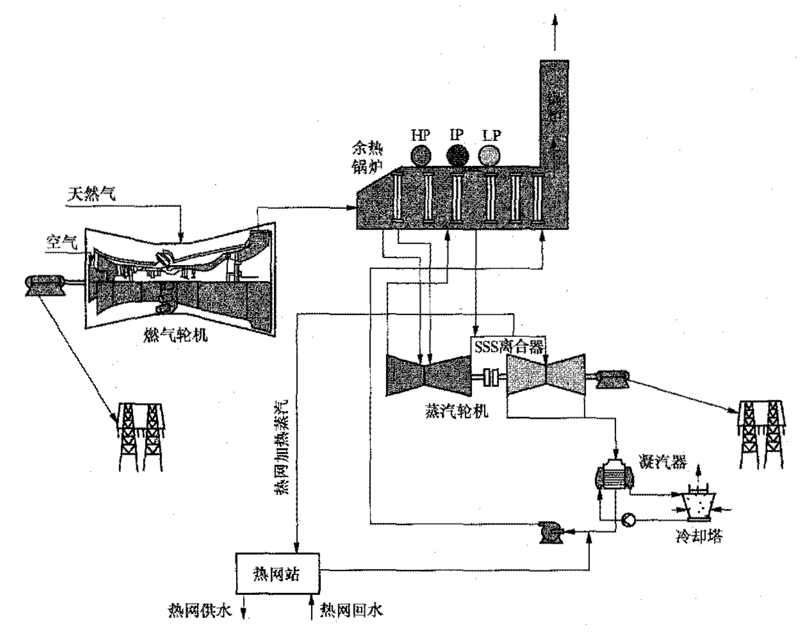


图 1-2 燃气-蒸汽联合循环发电厂生产工艺流程图

注：SSS 离合器是同步自换挡离合器的简称。

1. 燃气轮机的组成

燃气轮机装置由燃气轮机本体和辅助系统组成。燃气轮机本体主要包括压气机、燃烧室、透平三大部分，还包括一些防喘放风管道、冷却管道、燃料管道、检测仪器仪表等设备。

辅助系统包括进气系统、排气系统、燃料系统、润滑油系统、冷却水系统、水洗系统、罩壳消防系统等。

2. 燃气轮机的工作原理

压气机连续地从大气中吸入空气并将其压缩；压缩后的空气进入燃烧室，与喷入的燃料混合后燃烧，成为高温燃气，随即流入燃气轮机透平中膨胀做功，将热能转变为机械能，同时带动发电机发电，将机械能转换为电能。燃气轮机排气排至大气或进入联合循环余热锅炉。

3. 燃气-蒸汽联合循环发电厂的生产原理

空气在压气机中被压缩后与燃气在燃烧室混合，提高工质温度，再进入燃气轮机通过膨胀将热能转化为机械能，驱动发电机发电。同时，燃气轮机的排气进入余热锅炉加热给水，产生蒸汽驱动汽轮机做功，带动发电机发电。燃气轮机和蒸汽轮机是两个动力输出设备。燃气-蒸汽联合循环发电厂机组根据燃料的不同，配有油区或天然气调压站等辅助设施。

4. 燃气-蒸汽联合循环发电厂的特点

与常规的燃煤发电厂相比较，燃气-蒸汽联合循环发电厂以其热效率高、启动时间短、所需冷却水量少、占地面积小、建设周期短、环保效益明显、可有效地调整电力需求峰值等诸多优点而备受世界各国的重视。

四、火力发电厂工程设计阶段

火力发电厂工程的设计阶段划分及相应工作内容，不同的国家（地区）有不同规定，但原则上对火力发电厂项目可划分为前期工作阶段和工程设计阶段。

我国对新建火力发电厂工程，特别是大型火力发电厂项目，设计阶段划分为初步可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图设计、设计服务（工地服务）、竣工图设计和设计回访等阶段。

初步可行性研究和可行性研究属于前期工作；从初步设计开始，到竣工图设计属于工程设计范畴。施工图设计包括施工图原则总图（也称司令图）设计。

1. 初步可行性研究

初步可行性研究是新建、扩建或改建工程项目中的一个重要环节，初步可行性研究在项目立项初期进行，主要对新建电厂的多个厂址条件或扩建、改建电厂条件及其在电力系统中的地位进行论证。经审查后的初步可行性研究报告是编制近期电力发展规划、热电联产规划以及确定投资方和编制项目可行性研究报告的基础。

2. 可行性研究

可行性研究是基本建设程序中为项目决策提供科学依据的一个重要阶段。发电厂新建、扩建或改建工程项目均应进行可行性研究。可行性研究阶段需详细

论证电厂建设的必要性，厂址在技术上的可行性和经济上的合理性，全面落实建厂条件。可行性研究报告是编写项目申请报告的基础，是项目单位投资决策的参考依据。

3. 初步设计

初步设计，有些国家（机构）称为概念设计，是在批复的可行性研究报告基础上，对电厂项目进行分系统设计的一个重要阶段。

初步设计是各个专业确定主要工艺设计方案、主要技术经济指标和主辅机设备的工作阶段。初步设计阶段是业主表达工程建设理念和项目建设愿望的最重要技术方案。

开展初步设计时，三大主机设备必须确定（完成招标，或投资方行文确定主机厂）。

4. 施工图设计

施工图设计成品是用于现场施工的，也是一个电站项目从概念变为现实的媒介，因此施工图成品的正确性、完整性、可实施性是衡量其质量的主要特性。

施工图设计阶段首先开展施工图原则总图设计。施工图原则总图设计是为现场开工做准备的，也是整个项目施工图设计的前奏和基础。施工图原则总图设计的重点是主动力区域（主厂房区域）。

开展施工图原则总图设计的前提是初步设计成品已经审查完成，初步设计总图已经收口，主要辅机设备已经确定。

施工图完成以后，以设计成品为产品的工作告一段落，但以服务为产品的工作已经开始。施工图设计阶段的最大特点是同时提供设计成品和服务产品。

5. 设计服务（工地服务）

现代化项目建设正在逐步建立全寿命周期的理念，无论是设计，还是施工安装，以及后续的运行管理，都在贯彻全寿命周期的理念。

大型火力发电厂项目，专业多，环节多，建设过程长，因此，设计单位提供的“服务产品”的质量格外重要。

施工配合工作是设计院诠释设计成品、消除设计缺陷、持续优化项目建设质量的重要环节。

6. 竣工图设计

竣工图设计是现代工业及民用工程项目的重要阶段，其目的是充分反映项目完工后设计文件与建设结果的一致性，为项目全寿命周期管理提供档案资料。

竣工图设计是在施工图设计成品基础上，充分纳入建设过程中的设计变更，以更准确地反映工程的实际建成后状况。与施工图相比，竣工图的最大区别是反映工程实际建成的状况。

竣工图设计可以由施工图设计单位继续完成，也可以由业主另行委托其他设计单位单独完成。我国电力系统的业主单位一般都是委托工程设计单位完成竣工图设计。

7. 设计回访

电力工程建设项目具有投资高、建设周期长、设计过程复杂、建设环节多的特点。作为设计单位，为了做好本项目全寿命周期技术服务，同时，也是为了总结经验，持续改进，通过项目促进设计企业可持续发展。

第二节　火力发电厂供暖通风与空气调节系统概述

一、火力发电厂供暖通风与空气调节系统的作用

为了保证火力发电厂生产工艺系统的安全性、可靠性，为电厂生产、维护、运行人员提供安全、卫生、健康、舒适的工作环境，按相关国家、行业和地方的法律法规要求，结合具体火力发电厂项目的生产工艺特点和所在地区的自然条件，在火力发电厂各相关工艺系统和工作场所，设计相应的供暖、通风、除尘、空气调节等系统设施。

总体上说，火力发电厂设计供暖通风空气调节的目的基本归为两类：一类是满足生产工艺运行要求，为生产工艺服务；另一类是满足电厂生产运行人员的健康要求，为人服务。

1. 火力发电厂建筑物供暖

火力发电厂建筑物供暖的作用：

（1）满足工艺设备安全、可靠运行时的环境温度要求。

（2）满足从事电厂运行、维护、检修等工作的人员对工作环境的基本要求。

按照以上要求，火力发电厂的供暖系统可分为满足工艺设备运行环境温度的供暖和值班供暖。两者的主要区别是供暖参数不同和舒适性要求不同。

2. 火力发电厂建筑物通风

火力发电厂建筑物设置通风的根本目的是维持建筑物内合格的环境，以满足设备安全、可靠运行和人员工作环境的舒适。可概要分为以下几个方面：

（1）排除室内余热，维持室内温度在一个合理的范围内。

（2）排除室内余湿，保持室内合理的相对湿度。

（3）排除有害物质，保证室内（区域）环境卫生要求。

3. 火力发电厂建筑物空气调节

对于现代化的火力发电厂，随着电子设备布置的不断分散和电子设备自身对运行环境的要求越来越宽

松，使得火力发电厂建筑物设置空气调节系统的目的基本上是为了满足电厂工作人员的工作环境舒适性，即以满足人的需求为主，以单纯满足设备运行环境而设置的空气调节系统越来越少。因此，火力发电厂的空气调节系统设计可按相关规程规范要求，按照舒适性空气调节系统设计即可。

在一些特定自然条件下，火力发电厂某些特殊区域需要设计降温通风措施，比如：

（1）对于建在炎热地区的火力发电厂，为了维持主厂房（汽机房）内工作区温度，满足运行维护人员的劳动保护需求，主厂房通风的进风系统需要进行降温处理，以达到通风降温的目的。

（2）某些电气房间，在室内外高热环境下，房间内温度会超过设备安全运行所能承受的安全工作温度，采用普通的通风系统已满足不了维护工作区环境温度的要求，这时就需要设置降温通风设施。

（3）对建在高热、低湿地区（如新疆、甘肃、陕西等地区），夏季在汽机房通风等系统中采用直接蒸发冷却系统，是一种高效节能的通风降温措施，属于自然能源的开发利用。

4. 运煤系统粉尘控制

对燃煤火力发电厂，煤是电厂的“食粮”，一时一刻都不可“断粮”，因此，只要电厂在运行发电，运煤系统就始终处在运行状态。

运煤系统包括卸煤、储煤、输送、转运、破碎等环节，在上述环节中，会产生煤尘和煤尘飞扬。在整个火力发电厂生产区域中，运煤系统的污染是最严重的。把运煤系统的煤尘外溢和煤尘飞扬控制在合理的水平，避免煤尘污染，是考核燃煤火力发电厂文明生产和环境治理的重要指标。

燃煤火力发电厂的粉尘控制，就是通过采取综合性措施，抑制和清除燃煤在装卸、输送、破碎等环节中产生的煤尘，维持相对清洁的生产运行环境。

二、火力发电厂供暖通风与空气调节系统的设计范围

（一）燃煤火力发电厂

1. 燃煤卸储及输送系统

（1）供暖。

1）集中供暖地区的火力发电厂。卸煤建筑（卸煤沟、翻车机室）、上煤系统的运煤栈桥、转运站、采光间、碎煤机室等工业建筑物，以及运煤综合楼等生产辅助建筑需要设计集中供暖系统。

2）非集中供暖地区的火力发电厂。运煤系统一般不设置集中供暖，必要时，对有值班人员长时间驻留工作的区域（建筑物或房间）设置值班供暖。

（2）煤尘防治。在卸煤装置、转运站、碎煤机室、煤仓间等场合，原煤在卸储、转运和破碎过程中会产生煤尘飞扬，造成区域性环境污染，为此，要通过设计适宜的抑尘、防尘和除尘设施，控制煤尘飞扬和扩散，最大程度地减少煤尘污染。

（3）通风。对封闭的燃煤系统建筑物，为保证建筑物内空气质量，应考虑设计必要的通风系统，包括自然通风和强制通风等。

2. 主厂房系统

（1）供暖。地处严寒地区和部分寒冷地区的火力发电厂，主厂房一般是全封闭或半封闭建筑，这类主厂房需要考虑设计集中供暖系统，以满足主辅机设备可靠运行和运行维护人员对工作环境的基本要求。

（2）通风。主厂房是火力发电厂的核心区域，是火力发电厂主机设备和主要辅机设备集中的地方，也是散发大量余热和余湿的区域。为了保证主厂房内，特别是工作区域的温度及相对湿度环境，汽机房、锅炉房需要采用集中通风系统；其他高热、高湿房间（或区域）需要设计局部通风系统。

主厂房通风方案的确定应充分考虑环境因素。

（3）空气调节。主厂房是火力发电厂的核心，除工艺专业主辅机设备和控制系统的主要设备均布置在该区域外，电厂运行、检修和维护人员的日常工作也在该区域。布置在该区域的集中控制室（也称为单元控制室或机炉控制室）、电子设备间、UPS设备间、独立的值长室、工程师室等，都是非常重要的场所，需要设计集中空气调节系统，以满足这些场所全年室内温度及相对湿度标准。

3. 各类电气设备间

火力发电厂的厂内电气设备及设施分布很广，几乎覆盖了全厂所有工艺系统和生产辅助及附属建筑。暖通专业需要根据电气专业的需求，依据相关规程规范要求，为这些电气房间（如变压器室、蓄电池室、配电装置室、电缆隧道、电动机设备间、各类配电室、变频器室）设计相应的供暖通风与空气调节系统，以满足电气设备安全运行的需要。

4. 水务类建筑

火力发电厂水务类建筑包括化学水处理系统、工业水及生活水供水系统、各类污水处理系统等。为满足这些水务系统安全、可靠运行，暖通专业应根据工艺系统要求，设计相应的供暖系统、排除有害物质和余湿余热的通风系统，以及满足运行维护人员值班工作环境的空气调节系统。

5. 生产辅助系统和附属系统

火力发电厂的生产辅助系统和附属系统是满足火力发电厂安全稳定运行要求的重要组成部分。对于不同类型的火力发电厂，这些辅助和附属系统的组成也不一样。

针对这些生产辅助和附属系统，需要根据工艺要

求和人员工作环境需求，分别设计相应的供暖通风与空气调节系统。

6. 集中供暖系统

对建设在严寒地区和寒冷地区的火力发电厂，全厂应设计集中供暖系统。需要统一考虑供暖热源的选择，设置供暖加热站、供热管网及相应的控制与调节系统。

7. 集中供冷系统

当空气调节和降温通风所需的冷量较高时，应考虑设置集中供冷系统。

（二）燃气-蒸汽联合循环电厂

燃气-蒸汽联合循环电厂一般由燃气轮机、余热锅炉和蒸汽轮机三部分组成，其核心是燃气轮机。

燃气-蒸汽联合循环电厂的主厂房布置与燃煤火力发电厂的主厂房布置差异很大。蒸汽轮机的汽机房一般采用大厂房布置，与燃煤火力发电厂的汽机房布置形式类似。在非集中供暖区，余热锅炉基本都采用露天布置，个别项目采用紧身半封闭式布置；在非供暖区，燃气轮机基本上都采用露天布置，燃气轮机厂配套附带一套封闭小罩，目的是防风防雨和控制噪声。在寒冷地区，燃气轮机多采用厂房内布置。

我国的燃气-蒸汽联合循环电厂目前基本上都建在南方和东部沿海地区，很少有建设在严寒地区的项目。其他国家，如俄罗斯，在严寒地区建设的燃气-蒸汽联合循环项目比我国多，呈逐年增加的趋势。

根据国内外已建成燃气-蒸汽联合循环电厂的设计和运行经验，对暖通空气调节设计的原则建议如下：

（1）供暖。建在集中供暖地区的燃气-蒸汽联合循环电厂，主厂房采用全封闭布置时，主厂房要按值班供暖要求设计集中供暖系统，以满足主辅机设备可靠运行和运行维护人员对工作环境的基本要求。

（2）通风。燃气-蒸汽联合循环电厂的汽机房一般都采用封闭布置，其功能及工艺要求与燃煤火力发电厂的汽机房基本相同。为了保证主厂房内，特别是工作区域的温度及相对湿度环境，汽机房应采用集中通风系统。

燃气轮机采用大厂房封闭布置时，厂房内散热量较大，同时还有多种有害的气体散发在厂房内，需要设计集中通风系统来满足房间内工作卫生要求。

（3）空气调节。燃气-蒸汽联合循环电厂的运行控制方式一般采用燃气轮机和蒸汽轮机分开控制的模式，控制系统比燃煤火力发电厂简单。燃气轮机控制系统基本都是随燃气轮机本体配套，不同的燃机有不同的配套控制设施，控制中心就在燃机本体上。控制中心需要设空气调节系统，以满足运行人员的健康需求。

蒸汽轮机的主厂房是整个联合循环电厂的核心，工艺专业主辅机设备和控制系统的主要设备均布置在主厂房内，电厂运行、检修和维护人员的日常工作也在该区域。主厂房如果设置了集中控制室，则需要设计集中空气调节系统，以满足这些场所全年室内温度及相对湿度标准。

第三节 火力发电厂工程各设计阶段供暖通风与空气调节设计的内容

一、初步可行性研究阶段

1. 主要工作

（1）通过科室主任获得任务，查阅与该项目相关的工程技术资料，做好准备工作。如有技术疑难问题，应及时与室主任沟通。

（2）参加项目经理组织的工程启动会，按设计计划的要求，按时提交收资提纲，按时完成院内、外资料互提，按时提交本专业设计成品。

（3）按照项目经理的要求，参加与本专业相关的收资（包括现场收资）、方案论证、技术研讨等工作。

（4）按设计计划要求完成本专业设计成品及各级评审，成品按时提交给项目经理汇总。

（5）按项目经理和室主任安排，参加初可研审查会等。

2. 主要收资内容

（1）对于热电联产项目，需要收集项目所在地供热规划、热电联产规划，以及近期和远期热负荷资料。

（2）对于扩建性质的火力发电厂，需要收集本期工程可利用的供暖热源、空气调节冷源的相关资料。

3. 工作流程

初步可行性研究阶段暖通专业工作流程见表1-1。

表1-1 初步可行性研究阶段暖通专业工作流程

序号	工作	内 容	备注
1	准备工作	通过科室主任接受任务	
		查阅收集与本专业相关的技术资料	
2	初步可行性研究启动	参加启动会，理解和落实项目设计计划	
3	内、外部接口	按设计计划要求，完成内、外部接口配合和技术资料互提	
4	初步可行性研究报告编制	按设计计划要求编制本专业报告	
		按设计计划要求编制相关的专题报告	

续表

序号	工作	内 容	备注
5	可行性研究成品提交	对本专业报告进行专业评审	
		把专业报告提交给项目经理进行组卷	
		按项目经理的安排参加院内、外设计评审	
		按评审意见修改本专业报告	
6	设计确认	参加审查会	包括审后配合工作

4. 初步可行性研究报告中暖通专业的成品内容

根据工程需要，初步可行性研究报告中暖通专业可提供方案说明，一般没有附图。

对于非热电联产的常规火力发电厂项目，初步可行性研究报告中涉及的供暖、通风方面的内容很简单，可根据具体项目情况，简要编写电厂供暖通风与空气调节的基本原则。

二、可行性研究阶段

1. 主要工作

（1）通过科室主任获得任务，查阅与该项目相关的工程技术资料，做好准备工作。如有技术疑难问题，应及时与室主任沟通。

（2）参加项目经理组织的工程启动会，按设计计划的要求，按时提交收资提纲，按时完成院内、外资料互提，按时提交本专业设计成品。

（3）按照项目经理的要求，参加与本专业相关的收资（包括现场收资）、方案论证、技术研讨等工作。

（4）按设计计划要求完成本专业设计成品及各级评审，成品按时提交给项目经理汇总。

（5）按项目经理和室主任安排，参加可研审查会等。

2. 主要收资内容

（1）对于热电联产项目，需要收集项目所在地供热规划、热电联产规划，以及近远期热负荷资料。

（2）对于扩建性质的火力发电厂，需要收集本期工程可利用的供暖热源、空气调节冷源的相关资料。

3. 工作流程

可行性研究阶段暖通专业工作流程见表1-2。

表1-2 可行性研究阶段暖通专业工作流程

序号	工作	内 容	备注
1	准备工作	通过科室主任接受任务	
		查阅收集本工程初步可行性研究资料	
2	现场踏勘和收资	按项目经理和室主任的安排参加	
		提出并落实本专业所需的原始资料	
3	可行性研究启动	参加启动会，理解和落实项目设计计划	
4	内、外部接口	按设计计划要求，完成内、外部接口配合和技术资料互提	
5	可行性研究报告编制	按设计计划要求编制本专业报告	
		按设计计划要求编制相关的专题报告	
6	可行性研究成品提交	对本专业报告进行专业评审	
		把专业报告提交给项目经理进行组卷	
		按项目经理的安排参加院内、外设计评审	
		按评审意见修改本专业报告	
7	设计确认	参加可行性研究外部审查会	
		根据审查纪要内容，参加可行性研究收口	

4. 可行性研究报告中暖通专业的成品内容

暖通专业应根据具体项目情况，简要编写电厂供暖通风与空气调节的基本原则，由设计总工程师统一汇总到可行性研究总报告中。可行性研究阶段供暖通风与空气调节部分的内容应包括：

（1）本工程供暖通风与空气调节系统的设计依据和原则。

（2）设计原始条件。

（3）供暖热源和空气调节冷源。

（4）主厂房供暖系统和通风系统。

（5）全厂空气调节系统设计原则。

（6）运煤系统除尘设计原则。

（7）生产辅助建筑和附属建筑供暖通风与空气调节设计原则。

三、初步设计阶段

1. 主要工作

（1）通过科室主任获得任务，查阅该项目可行性研究阶段的技术资料，做好准备工作。

（2）参加项目经理组织的工程启动会。按项目经理的要求，确定本专业主要设计原则、专题研究内容和技术经济优化指标。提交本专业外部收资提纲。

（3）按照项目经理或室主任的安排，组织本专业收资（包括现场收资）。

（4）按项目设计计划要求，完成本专业内、外提资；接收并验证内、外部设计输入资料。

（5）及时完成本专业设计成品及各级评审，成品按时提交给项目经理。

（6）按项目经理安排，参加相关专业的综合评审。

（7）按项目经理和室主任安排，参加初步设计审查会等。

（8）按初步设计审查意见要求，完成本专业初步设计收口。

2. 工作流程

初步设计阶段暖通专业工作流程见表1-3。

表1-3　初步设计阶段暖通专业工作流程

序号	工作	内容	备注
1	准备工作	通过科室主任接受任务	
		查阅收集本工程前期工作资料	
2	现场踏勘和收资	组织本专业内、外部收资	
		提出并落实本专业初步设计所需的基础资料	
3	初步设计启动	参加启动会	
4	内、外部接口	按设计计划要求，完成内、外部接口配合和技术资料互提	
5	初步设计文件编制	按设计计划要求编制本专业报告	
		按设计计划要求编制相关的专题报告	
6	初设成品提交	对本专业成品进行专业内部和院级评审	
		根据需要，对本专业成品进行外部评审	
		主设人确认本专业成品内容深度符合规定	
		提交专业成品	
7	设计确认	参加初步设计外部审查会	
		根据审查纪要内容修改成品，完成初步设计收口	

3. 暖通专业提供和接受院内相关专业资料

（1）暖通专业提供院内、外专业资料。初步设计阶段暖通专业提供院内、外专业资料见表1-4。

（2）暖通专业接受院内、外专业资料。初步设计阶段暖通专业接受院内外专业资料见表1-5。

表1-4　初步设计阶段暖通专业提供院内、外专业资料

编号	资料名称	资料内容	类别	进度	接受专业	备注
1	暖通用汽、用水	供暖、空气调节、除尘用汽、用水的数量及参数	重要	方案阶段	热机、水务	水务含供水、化学
2	加热站、制冷站、空气调节机房布置图	表明建筑尺寸的平、断面布置图	一般	方案阶段	热机、总图	独立建筑物需提供总图
3	主厂房通风布置	开窗面积（通风系统进、排风面积）	一般	方案阶段	建筑、结构、热机	有风管提交机务
4	电负荷资料	包括控制及联锁要求	一般	方案阶段	电气	
5	消防设计资料	主厂房等通风、防火排烟要求	一般	方案阶段	消防	
6	厂区热网布置	电厂范围的热网总图	一般	方案阶段	总图、给排水	
7	供热、制冷、空气调节系统控制要求		一般	方案阶段	热控	
8	除尘室布置图	运煤系统除尘、排水	一般	方案阶段	建筑、结构、运煤、给排水	
9	运煤抑尘资料	煤场、卸煤、上煤系统的各种抑尘措施	一般	方案阶段	运煤、给排水、建筑、结构	
10	技经资料	设备材料清册	重要	汇编阶段	技经	

表1-5　初步设计阶段暖通专业接受院内、外专业资料

序号	资料名称	资料主要内容	提资专业	备注
1	主厂房布置图	包括各层平面和主要断面	热机	

续表

序号	资料名称	资料主要内容	提资专业	备注
2	工艺专业供暖通风与空气调节的要求	各工艺专业对相关房间（建筑物）供暖通风与空气调节的要求，应包括相关图纸资料	热机、运煤、除灰、化学、给排水、电气、热控、通信	
3	运煤系统及辅助设施平、剖面图	包括皮带宽度、带速，各点落差及工艺封闭措施等	运煤	
4	燃油区、启动锅炉房布置图	包括平面图、剖面图	热机	
5	各类供水泵房、排水泵房布置图	包括平面图、剖面图	给排水	
6	灰渣泵房、除灰水泵房布置图	包括平面图、剖面图	除灰	
7	化学水处理区、各类污水处理站布置图	包括平面图、剖面图	化学	
8	室内灭火方式	包括控制室、电子设备间、电缆室（夹层）等	消防	
9	全厂主要建筑物平、剖面图（或建筑面积）	主厂房、集控楼、电除尘、运煤、除灰及辅助建筑	建筑	
10	总平面布置图	初步设计深度的总平面布置图	总图	

4．暖通专业的成品内容

（1）在初步设计阶段，常规情况下国内项目暖通专业的成品内容主要分为三部分：

1）设计方案说明。编写的内容及深度应按 DL/T 5427《火力发电厂初步设计文件内容深度规定》执行。

2）设计图纸。初步设计的图纸作为设计方案说明的一部分，与说明书一起组成暖通专业分卷，内容和深度按 DL/T 5427 执行。

3）设备材料清册。初步设计阶段暖通空气调节系统的设备和主要材料应按 DL/T 5427 的要求进行计列，同时应满足技经专业完成投资概算和业主单位进行施工单位招标的深度要求。

国内大型火力发电厂项目，特别是投资方作为示范性建设的重点项目，初步设计阶段都会提出一系列设计优化的目标，要求设计单位进行专题研究。专题报告是初步设计成品的一部分，但不属于常规设计成品，其内容及深度要求可结合具体项目情况，按项目经理的要求完成。

境外火力发电厂项目的初步设计文件内容及深度要求与国内项目有差异，一般都体现在业主的招标文件中，设计中严格执行招标文件即可。

（2）成品内容应满足以下要求：

1）设计成品（包括设计说明、图纸、设备材料清册、专题报告等）应满足 DL/T 5427 的要求。

2）确定本项目供暖、通风、除尘、空气调节系统的主要功能、布置方案、运行控制模式及主要技术经济指标，作为施工图设计阶段的设计依据。

3）满足政府及项目业主单位对初步设计专项审查的要求。

4）满足业主单位控制工程造价的要求。

四、施工图设计阶段

1．主要工作

（1）主设人参加项目经理组织的施工图设计启动会，并按项目设计计划要求做好施工图设计各项准备工作。

（2）按项目经理要求，同室主任沟通协调，组织本专业施工图设计团队。

（3）在项目总体计划框架下，编制本专业施工图设计计划，内容应包括本专业施工图设计原则、本项目暖通专业施工图设计组织机构及联络机制、本专业卷册计划及卷册负责人等。

（4）专业主设人向卷册负责人下达卷册设计任务书。

（5）主设人负责专业外设计接口的协调管理，卷册负责人负责本卷册内、外接口的协调管理。

（6）卷册负责人、专业主设人、专业主管共同按 DL/T 5461.12—2013《火力发电厂施工图设计文件内容深度规定 第 12 部分：采暖通风及空气调节》的要求，确保各卷册施工图设计成品深度满足行业标准要求；同时，按各单位三标管理体系文件要求，严把施工图卷册质量关。

（7）主设人按照项目经理的要求，不断更新调整施工图设计计划，确保本专业施工图设计进度满足各方面需求。

（8）及时处理施工图设计过程中和项目现场施工过程中出现的各类技术问题，确保本专业施工图成品具备可实施性。

2. 暖通专业提供和接受院内相关专业资料

（1）暖通专业提供院内、外专业资料。施工图设计阶段暖通专业提供院内、外专业资料见表1-6。

表1-6　施工图设计阶段暖通专业提供院内、外专业资料

序号	资料名称	资料内容	类别	进度	接受专业	备注
1	暖通空气调节用汽及凝结水资料	用汽量、凝结水量及回收方式、位置	重要	司令图阶段	热机	
2	工业用水资料	水量、参数、位置	一般	司令图阶段	热机、供水	
3	生活用水资料	水量、参数、位置	一般	司令图阶段	供水	
4	软化（除盐）水用水资料	水量、参数、位置	一般	司令图阶段	化学	
5	厂区供暖热网总布置图	走向、剖面、伸缩节位置、检查井、支座	重要	司令图后阶段	总图、给排水	
6	电负荷任务书	全厂各个建筑物暖通用电清单	一般	司令图后阶段	电气	
7	暖通空气调节系统控制资料	运行方式、参数、控制及调节要求	一般	施工图阶段	热控	
8	主厂房内暖通设备布置图	热风供暖、通风、除尘、空调设备布置平面图、剖面图	一般	施工图阶段	热机、电气	
9	主厂房内暖通管（风）道布置	主要供暖管道、风道布置	一般	施工图阶段	热机、电气	
10	保温油漆资料	管道长度、直径、介质参数等	一般	施工图阶段	热机	
11	运煤系统暖通设备布置	通风、除尘系统的设备及管道布置	一般	施工图阶段	运煤、电气、结构、给排水	
12	运煤系统喷水抑尘及除尘资料	卸煤、储煤、各转运点喷水（雾）资料	一般	施工图阶段	运煤、电气、结构、给排水	
13	集中控制楼空气调节系统布置图	空气调节机房平面图、剖面图，集中控制室空调系统布置图	一般	施工图阶段	电气、热控、建筑、结构	
14	主厂房细部任务书	供暖、通风、空气调节设备的布置，荷重、风道、沟道、开孔、预埋件等	一般	施工图阶段	结构	
15	生产辅助及附属建筑暖通细部任务书	通风、空气调节设备的布置，风道、沟道（供暖入口）、开孔、预埋件	一般	施工图阶段	热机、电气、建筑、结构	

（2）暖通专业接受院内、外专业资料。施工图设计阶段暖通专业接受院内、外专业资料见表1-7。

表1-7　施工图设计阶段暖通专业接受院内、外专业资料

序号	资料名称	资料主要内容	提资专业	备注
1	主厂房布置图	设备布置和对暖通的要求	热机	
2	工艺专业供暖通风与空气调节的要求	包括各个区域温度及相对湿度要求	热机、运煤、化学、供水、电气、热控	其他相关专业
3	主厂房建筑、结构布置图	各层平面图、剖面图	建筑、结构	
4	集中控制楼建筑、结构布置图	各层平面图、剖面图	建筑、结构	
5	全厂生产辅助、附属建筑布置图	各层平面图、剖面图	建筑	或结构
6	生产辅助系统工艺设备布置图	各工艺设备、管道及附属设施平、断面布置图	运煤、除灰、化学、电气、热控、通信	
7	集中控制室、电子设备间布置图	包括平面图、剖面图	热控	
8	实验室布置图	包括建筑平面图、剖面图及实验设备布置图	热控、化学	

续表

序号	资料名称	资料主要内容	提资专业	备注
9	室内消防布置图	包括控制室、电子设备间、配电、电缆室（夹层）等	消防	
10	环保、劳保监测站暖通空气调节要求	包括室内温度及相对湿度要求、主要布置图等	环保	或相关专业
11	总平面布置图	司令图深度的总平面布置图	总图	

3. 应关注的问题

（1）重视施工图专业设计计划。火力发电厂项目是一个多专业、多建设环节的综合性项目。到施工图设计阶段，众多因素相互交织，互相制约，会给施工图设计带来很多不良影响，甚至严重影响到施工图设计的质量和进度。为了控制好这些不良因素的影响，编制并管理好本专业施工图设计计划是一个有效措施，应当作为专业主设人的首要任务来完成。

（2）确认来自工艺专业设计输入的准确性。暖通专业在火力发电厂属于服务型专业，其施工图设计的重要输入之一是工艺要求。在施工图设计过程中，由于工艺专业多版制引起的多次提资现象时有发生，主设人和卷册负责人均应高度关注，确保来自工艺专业设计输入的正确性。

（3）确认来自设备厂商设计输入的正确性。供暖通风与空气调节系统的许多施工图卷册是以设备资料为设计输入的，在开展施工图设计工程中，由于设计、采购、现场施工进度需求之间的相互矛盾，在开展某些卷册施工图设计过程中，其相关的设备资料尚未完全到位，因此，施工图成品提交前应重点落实本卷册所使用的设备资料的有效性。

（4）设计输出的正确性。火力发电厂暖通专业施工图设计中有多条设计输出通道，包括热机、电气、建筑、结构、水工、技经等多个专业。为了确保相关专业项目施工图成品的质量，暖通专业在施工图设计中也要及时提供、更新相关设计输出资料。设计输出的管理是专业主设人和卷册负责人的重要职责。

五、竣工图设计阶段

1. 竣工图设计原则

（1）竣工图设计应按 DL/T 5229《电力工程竣工图文件编制规定》的要求执行。

（2）竣工图的编制范围一般情况下按已出版的最终施工图卷册范围编制，不能遗漏。特殊情况下由项目经理根据业主方要求，协商确定某项目的竣工图编制范围。竣工图编制原则应由主管总工程师批准。

（3）在施工安装过程中没有发生内容修改的施工图，设计竣工图时可直接套用，在竣工图卷册目录中将图号开列在套用图纸栏内，出版时加盖竣工图章。

（4）凡是在施工过程中发生过修改的施工图，应按实际修改内容重新绘制竣工图，修改的依据是工地代表修改通知单、施工图交底纪要及施工单位的工程联系单等。图标仍按施工图图标，但设计阶段改为竣工图阶段，图纸编号按原施工图图号，其中设计阶段代替字母 S 改为 Z。若有新增图纸，其编号在该册的最后一个编号后依次顺延。

（5）暖通专业在总的部分中编写专业竣工图总说明，在总说明中应附有本专业的竣工图卷册总目录。各竣工图卷册中必须附加卷册修改说明，对修改的主要内容和原因加以简述，并写出修改依据文件的编号。卷册修改说明编号可按顺序编在相应卷册的最后。

2. 竣工图设计注意事项

暖通专业与相关工艺和土建专业都关系密切，涉及的设备厂商较多，在工程建设过程中，暖通专业的施工图修改来自多方面，其中有来自设备制造商的资料变更，编制竣工图时应格外注意收集齐全各类变更通知单，以作为竣工图设计依据。

第四节 火力发电厂供暖通风与空气调节系统设计的基本依据

当前我国电力行业发展的环境发生了深刻变化，电力设计中需要考虑的因素不断拓宽。可持续发展的理念和实践对电力建设产生了重大而深远的影响，工程设计作为电力建设的龙头，需要更加关注生态和环境保护问题、工程的综合效益以及项目的运行管理和安全，这些都将推动电力工程设计理论、设计方法和设计手段的深刻变革。

一、火力发电厂供暖通风与空气调节系统设计应遵循的规程规范和相关标准

1. 火力发电厂工程建设标准的使用

火力发电厂设计所涉及的规范、规程、技术标准和法律法规众多，应用范围和使用的强制性要求

差异很大。

（1）国内工程。特别是由中国政府和企业投资建设的火力发电厂，其设计、审查、采购、施工、安装、验收、运行维护等，一般均以中国标准为依据。

（2）境外项目。无论是中方投资还是外方投资，对设计标准的要求均有很大差异，多以国际发达国家（欧美为主）标准为主，辅以相关的地方法规（主要针对消防、环保、职业安全和劳动卫生等）。如果采用中国标准，往往需要进行标准体系的对比和审批程序，工作极其繁琐。

（3）由外方投资，项目建在中国境内的项目。这种项目对执行建设标准的要求比较复杂，多数情况下按以下原则执行：

1）生产工艺系统执行国际标准。

2）相关联的市政民用工程执行中国标准。

3）消防、环保、安全、职业卫生等特殊项目，一般执行项目所在地的地方标准或中国国家标准。

2. 与火力发电厂设计相关的中国标准

目前，与火力发电厂设计有关的国家、行业和地方性规范、规程、规定有很多，而且各个标准在阶段修编和滚动升版中，其规定内容和适用范围不断变化，在使用过程中经常出现混淆。

我国的工程建设标准体系经过了半个多世纪的发展，与发达国家相比，我国的工程建设标准发展历程相对较短，但由于我国在标准体系的建设方面投入大量精力，又有足够的工程项目做依托，经过几十年的不断改进、完善和发展，目前已经基本形成了中国特色的建设标准体系，并正在逐步被世界各国接纳和认同，这是我国在工程建设领域取得的最令世界瞩目的技术成就。

在火力发电厂工程建设标准方面，我国的起步虽然较晚，但得益于我国火力发电项目的快速发展，我国以燃煤火力发电为主导的火力发电厂，无论装机总量，还是单机容量、火力发电厂类型和整体建设水平，目前均达到世界领先地位，为我国火电工程建设标准的发展奠定了得天独厚的条件。目前，我国的火力发电厂建设标准体系已经相当完善，技术水平也达到世界先进水平。

3. 与火力发电厂供暖通风与空气调节设计相关的中国标准

依托我国现有各种标准体系，现将与火力发电厂供暖通风与空气调节设计相关的标准汇总于表 1-8 中。

由于我国的工程建设标准采用阶段修编和滚动升版的管理体制，所有规范标准在升版过程中都会发生条文内容、使用范围和使用时效的变化，在使用中一定要高度关注使用标准的有效性。

表 1-8 中简要介绍了火力发电厂供暖通风与空气调节设计中常用的中国标准，供参考。

表 1-8　　火力发电厂供暖通风与空气调节设计中常用的中国标准

序号	标准号及名称	标 准 简 介
1	DL/T 5035—2016《发电厂供暖通风与空气调节设计规范》	中华人民共和国电力行业标准，由国家能源局发布。 本标准规定了火力发电厂供暖通风与空气调节设计的基本原则、内容和要求。 本标准适用于燃煤、燃油或燃气等采用直接燃烧方式的火力发电厂新建、扩建和改建建筑，以及压水堆核电厂常规岛及其辅助建筑的供暖、通风、空气调节及除尘设计
2	GB 50660—2011《大中型火力发电厂设计规范》（简称《大火规》）	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本标准规定了大中型火力发电厂各个组成部分的主要设计原则和总体要求。 本标准适用于蒸汽初参数为超高压及以上、单台机组容量在 125MW 及以上、采用直接燃烧方式、主要燃用固体化石燃料的火力发电厂工程的设计
3	GB 50049—2011《小型火力发电厂设计规范》（简称《小火规》）	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本标准规定了小型火力发电厂各个组成部分的主要设计原则和总体要求。 本标准适用于高温高压及以下参数、单机容量在 125MW 以下、采用直接燃烧方式、主要燃用固体化石燃料的新建、扩建和改建火力发电厂的设计
4	GB 50229—2006《火力发电厂与变电站设计防火规范》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本标准规定了燃煤火力发电厂和变电站各建（构）筑物火灾危险性分类、耐火等级及防火分区；提出了相关工艺系统和建筑物的防火及消防设计要求。 本规范适用于下列新建、改建和扩建的电厂和变电站： （1）3～600MW 级机组的燃煤火力发电厂。 （2）燃气轮机标准额定出力为 25～250MW 级的简单循环或燃气-蒸汽联合循环电厂。 （3）电压为 35～500kV、单台变压器容量为 5000kV·A 及以上的变电站。 600MW 级机组以上的燃煤电厂、燃气轮机标准额定出力为 25MW 级及以下，以及 250MW 级及以上的燃气轮机电厂，500kV·A 以上变电站可参考使用

续表

序号	标准号及名称	标　准　简　介
5	GB 50019—2015 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本规范规定了工业建筑通用的室内空气设计参数、室外设计计算参数、供暖、通风、空气调节、冷源与热源、检测与监控、消声与隔振、绝热与防腐。 本标准适用于新建、扩建和改建的工业建筑物的供暖通风与空气调节设计。不适用于有特殊用途、特殊净化与特殊防护要求的建筑物、洁净厂房以及临时性建筑物的供暖、通风与空气调节设计
6	GB 50736—2012 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本规范规定了民用建筑通用的室内外设计计算参数、供暖、通风、除尘与有害气体净化、空气调节、冷源与热源、监测与控制、消声与隔振、绝热与防腐。 本标准适用于新建、改建和扩建的民用建筑的供暖通风与空气调节设计，不适用于有特殊用途、特殊净化与防护要求的建筑物以及临时性建筑物的设计
7	DL/T 5187.2—2004 《火力发电厂运煤设计技术规程 第2部分：煤尘防治》	中华人民共和国电力行业标准，由中华人民共和国国家经济贸易委员会发布。 本标准规定了火力发电厂运煤系统煤尘防治设计的基本原则、内容和要求。 本标准适用于单机容量为50～600MW级机组的新建、扩建、改建的燃煤电厂的煤尘防治设计。50MW级以下机组燃煤电厂的煤尘防治设计可参考使用，600MW级以上机组的新建、扩建燃煤电厂的煤尘防治设计也可参考使用
8	GB 50016—2014 《建筑设计防火规范》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本标准规定了生产和储存建（构）筑物的火灾危险性分类、高层建筑的分类要求，厂房、仓库、住宅建筑和公共建筑等工业与民用建筑的建筑耐火等级分级及其建筑构件的耐火极限、平面布置、防火分区、防火分隔、建筑防火构造、防火间距和消防设施设置的基本要求，工业建筑防爆的基本措施与要求；工业与民用建筑的疏散距离、疏散宽度、疏散楼梯设置形式、应急照明和疏散指示标志以及安全出口和疏散门设置的基本要求；甲、乙、丙类液体、气体储罐（区）和可燃材料堆场的防火间距、成组布置和储量的基本要求；木结构建筑和城市交通隧道工程防火设计的基本要求；满足灭火救援要求设置的救援场地、消防车道、消防电梯等设施的基本要求；建筑供暖通风与空气调节和电气等方面的防火要求以及消防用电设备的电源与配电线路等基本要求。 本标准适用于下列新建、扩建和改建的建筑： （1）厂房。 （2）仓库。 （3）民用建筑。 （4）甲、乙、丙类液体储罐（区）。 （5）可燃、助燃气体储罐（区）。 （6）可燃材料堆场。 （7）城市交通隧道。 对火力发电厂工程，在GB 50229中没有规定的，可参照该标准执行
9	GB 50067—2014 《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。主编部门为中华人民共和国公安部。 本标准规定了汽车库、修车库、停车场等特殊场所的防火及消防设计要求及基本依据。 本标准适用于新建、扩建和改建的汽车库、修车库、停车场防火设计，不适用于消防站的车库防火设计。 对火力发电厂工程，在GB 50229中没有规定的，可参照该标准执行
10	GB 50041—2008 《锅炉房设计规范》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本标准规定了锅炉房的布置、燃煤系统、燃油系统、燃气系统、锅炉烟风系统、锅炉给水设备和水处理、供热热水制备、监测和控制、化验和检修、锅炉房管道、保温和防腐蚀、土建、电气、供暖通风和给水排水、环境保护、消防和室外热力管道等设计原则。 本标准适用于下列范围内的工业、民用、区域锅炉房及其室外热力管道设计： （1）以水为介质的蒸汽锅炉锅炉房，其单台锅炉额定蒸发量为1～75t/h、额定出口蒸汽压力为0.10～3.82MPa（表压）、额定出口蒸汽温度小于或等于450℃。 （2）热水锅炉锅炉房，其单台锅炉额定热功率为0.7～70MW、额定出口水压为0.10～2.50MPa（表压）、额定出口水温小于或等于180℃。 （3）符合以上（1）（2）参数的室外蒸汽管道、凝结水管道和闭式循环热水系统。 本标准不适用于余热锅炉、垃圾焚烧锅炉和其他特殊类型锅炉的锅炉房和城市热力网设计

续表

序号	标准号及名称	标 准 简 介
11	DL/T 5174—2003 《燃气-蒸汽联合循环电厂设计规定》	中华人民共和国电力行业标准，由中华人民共和国国家经济贸易委员会发布。 本标准规定了燃气-蒸汽联合循环电厂的设计原则、建设标准。 本标准适用于新建、扩建燃气轮机标准额定出力为 25～250MW 级的简单循环和燃气-蒸汽联合循环电厂，以及类似机组的改建工程，燃气轮机标准额定出力小于 25MW 级的燃气轮机电厂和热电联产机组燃气轮机电厂可参照使用
12	CJJ 34—2010 《城镇供热管网设计规范》	中华人民共和国行业标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部发布。 本标准规定了城镇管网设计中，耗热量、供热介质、供热管网形式、供热调节、水力计算、管网布置与敷设、管道应力计算与作用力计算、中继泵站与热力站、保温与防腐涂层、供配电与照明、热工检测与控制、街区热水供热管网等设计原则。 本标准适用于供热热水介质设计压力小于或等于 2.5MPa，设计温度小于或等于 200℃；供热蒸汽介质设计压力小于或等于 1.6MPa，设计温度小于或等于 350℃的下列城镇供热管网的设计： （1）以热电厂或锅炉房为热源，自热源至建筑物热力入口的供热管网。 （2）供热管网新建、扩建或改建的管网、中继泵站和热力站等工艺系统
13	GB 50189—2015 《公共建筑节能设计标准》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布。 本标准规定了公共建筑节能设计的室内环境节能设计计算参数、建筑与建筑热工设计、供暖通风与空气调节节能设计等。 本标准适用于新建、改建和扩建的公共建筑节能设计
14	GBZ 1—2010 《工业企业设计卫生标准》	中华人民共和国国家职业卫生标准，由中华人民共和国卫生部发布。 本标准规定了工业企业选址与总体布局、工作场所、辅助用室以及应急救援的基本卫生学要求。 本标准适用于工业企业新建、改建、扩建和技术改造、技术引进项目的卫生设计及职业病危害评价。 事业单位和其他经济组织建设项目的卫生设计及职业病危害评价、建设项目施工期持续数年或施工规模较大，因各种特殊原因需要的临时性工业企业设计，以及工业园区的总体布局等可参照本标准执行
15	GB 8624—2012 《建筑材料及制品燃烧性能分级》	中华人民共和国国家标准，由中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会联合发布。 本标准规定了建筑材料及制品的术语和定义、燃烧性能等级、燃烧性能等级判据、燃烧性能等级标识和检验报告。 本标准适用于建设工程中使用的建筑材料、装饰装修材料及制品等的燃烧性能分级和判定
16	DL/T 5427—2009 《火力发电厂初步设计文件内容深度规定》	中华人民共和国电力行业标准，由国家能源局发布。 本标准规定了火力发电厂各个组成部分初步设计文件内容的深度。 本标准适用于单机容量为 125MW 及以上燃用固体化石燃料，采用直接燃烧方式的新建或扩建火力发电厂初步设计，125MW 以下机组及改建工程参照执行
17	DL/T 5461.12—2013 《火力发电厂施工图设计文件内容深度规定　第 12 部分：采暖通风及空气调节》	中华人民共和国电力行业标准，由国家能源局发布。 本标准规定了火力发电厂供暖通风与空气调节部分施工图设计文件内容的深度。 本标准适用于单机容量为 300MW 及以上燃用固体化石燃料的大型火力发电厂施工图设计

4. 与火力发电厂供暖通风与空气调节设计相关的国外标准

（1）美国标准。在按照国际标准建设的火力发电厂工程设计中，美国标准是应用最广泛的。美国标准的体系结构、管理模式、使用规则等，与我国标准体系差异很大，对其标准体系的掌握很有限，因此，在使用美国标准时，应格外谨慎，使用前应认真研究其适用范围和应用规则，以防断章取义，产生误导。2015 年，中国电力设计协会组织其成员单位开展一个大型标准化建设项目——中国电力设计标准与国际标准和国外标准比较研究（简称对标）。结合当时暖通专业的对标成果，现将部分与供暖通风与空气调节设计相关的美国标准列于表 1-9 中，供参考。

表 1-9　　火力发电厂供暖通风与空气调节设计常用美国标准

序号	标准名称编号	标 准 简 介
1	ACGIH *Industrial Ventilation* 中文名称：ACGIH《工业通风手册》	美国政府工业卫生工作者会议（American Conference of Governmental Industrial Hygienists，ACGIH）编制的技术手册。 本手册仅作为指导性准则，不作为法律强制性标准。 本手册对工业环境的通风进行了详细描述和设计指导，包括通风形式和原理、设计方法。涵盖了广泛的通风设计思路，包括全面通风、局部通风、空气净化、空气再循环利用等，

续表

序号	标准名称编号	标 准 简 介
1	ACGIH *Industrial Ventilation* 中文名称：ACGIH《工业通风手册》	也对通风设备的使用进行了细致的说明，包括排风罩、净化设备、风机等，同时也对通风系统的测试和评价进行了阐述。 本手册适用于工业排风系统的设计、维护、评价及测试，可作为工业通风设计师的官方标准及工业卫生课程的教材
2	*2009 ASHRAE Handbook* *—Fundamentals* *—Refrigeration* *—HVAC Application* *—HVAC Systems & Equipment* 中文名称：《2009 ASHRAE 手册》 ——基础 ——制冷 ——HVAC 应用 ——HVAC 系统和设备	美国供暖、制冷和空气调节工程师协会（American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers，ASHRAE）编制的技术手册。 ASHRAE 是国际标准化组织（International Organization for Standardization，ISO）指定的唯一负责制冷空气调节方面的国际标准认证组织，ASHRAE 手册由基础（Fundamentals）、制冷（Refrigeration）、HVAC 应用（HVAC Application）以及 HVAC 系统和设备（HVAC Systems and Equipment）四个分册组成
3	ANSI/ASHRAE 15-2010 *Safety Standard for Refrigeration Systems* 中文名称：ANSI/ASHRAE 15-2010 《制冷系统安全标准》	美国国家标准学会（American National Standards Institute，ANSI）和美国供暖、制冷和空气调节工程师协会（ASHRAE）标准。 由美国供暖、制冷和空气调节工程师协会组织制定的一项自愿性共识标准，美国国家标准学会已经将本标准批准为美国国家标准。 本标准属于自愿性遵守标准，除非通过立法确定其为强制性标准。 本标准规定了制冷系统的安全设计、建造、安装和运行要求。 本标准制定了关于生命、健康和财产的安全保护措施，并且规定了安全性要求。 本标准适用于： （1）机械式和吸收式制冷系统（包括固定应用中使用的热泵系统）的设计、建造、试验、安装、运行以及检查工作。 （2）改造（包括更换功能和容量不一致的部件或组件）。 （3）替换不同名称的制冷剂
4	ANSI/ASHRAE 55-2010 *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* 中文名称：ANSI/ASHRAE 55-2010 《适合人居住的热环境条件》	美国国家标准学会（ANSI）和美国供暖、制冷和空气调节工程师协会（ASHRAE）标准。 由美国供暖、制冷和空气调节工程师协会组织制定的一项自愿性共识标准，美国国家标准学会已经将本标准批准为美国国家标准。 本标准属于自愿性遵守标准，除非通过立法确定其为强制性标准。 本标准旨在说明创造可以被空间内多数居住者接受的热环境条件的影响因素，包括室内热环境因素和个人因素。 本标准中提及的环境因素包括温度、热辐射、湿度和风速。个人因素包括活动量和着装。 室内环境舒适度是一个很复杂的概念，受上述各种因素的共同影响，因此，应将本标准中的所有准则一并考虑。 本标准规定了压力相当于海拔 10000ft（约 3048m）处的大气压力的条件下，在设计用于人居住的室内空间中停留至少 15min 的健康成人所能接受的热环境条件。 本标准并未提及可能影响舒适度或健康的非环境因素，如空气质量、声音、照明或其他物理、化学或生物污染物
5	ANSI/ASHRAE 62.1-2010 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* 中文名称：ANSI/ASHRAE 62.1-2010 《用于获得可接受室内空气质量的通风》	美国国家标准学会（ANSI）和美国供暖、制冷和空气调节工程师协会（ASHRAE）标准。 由美国供暖、制冷和空气调节工程师协会组织制定的一项自愿性共识标准，美国国家标准学会已经将本标准批准为美国国家标准。 本标准属于自愿性遵守标准，除非通过立法确定其为强制性标准。 本标准规定了最低通风换气次数和其他指标，以便提供占用人员可接受的、最大限度减少对健康的不利影响的室内空气质量
6	ASHRAE 100-2006 *Energy Conservation in Existing Buildings* 中文名称：ASHRAE 100-2006 《既有建筑物节能》	美国供暖、制冷和空气调节工程师协会（ASHRAE）标准。 本标准适用于既有建筑、建筑物的一部分以及综合型建筑，包括建筑的外围和能源系统，但不包括工艺系统

续表

序号	标准名称编号	标 准 简 介
7	NFPA 68-2007 *Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting* 中文名称：NFPA 68-2007 《爆燃通风防爆标准》	美国国家防火协会（National Fire Protection Association，NFPA）标准。 NFPA 68-2007 在 2006 年 12 月 20 日被批准为美国国家标准。 本标准适用于排放燃烧气体、爆燃泄压的通风系统的设计、布置、安装、维护和使围护结构的结构和机械损伤最小化
8	NFPA 90A-2009 *Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems* 中文名称：NFPA 90A-2009 《空气调节和通风系统的安装标准》	美国国家防火协会（NFPA）标准。 NFPA 90A-2009 在 2008 年 9 月 5 日被批准为美国国家标准。 本标准包括通风与空气调节系统的施工、安装、运行和维护，包括过滤器、风管和相关设备，以保护生命和财产免受火灾、烟雾和火灾或类似火灾产生气体的影响。 本标准适用于保护生命财产安全远离火灾的最低要求
9	NFPA 90B *Standard for the Installation of Warm Air Heating and Air-Conditioning Systems（2012 Edition）* 中文名称：NFPA 90B 《热风加热与空气调节系统的安装标准（2012）》	美国国家防火协会（NFPA）标准。 NFPA 90B 在 2011 年 6 月 20 日被批准为美国国家标准。 本标准包括热风加热与空气调节系统的施工、安装、运行和维护，包括过滤器、风管和相关设备，以保护生命和财产免受火灾、烟雾和火灾或类似火灾产生气体的影响。 本标准的规定是以生命和财产安全的最低要求为基础的。 本标准适用于所有的系统，其空气流动空间应满足以下条件： （1）一户或两户家庭住宅。 （2）所有体积不超过 25000ft^3（约 708m^3）的空间。 （3）高度超过 3 层的可燃建筑物需满足 NFPA 90A 的要求
10	NFPA 92-2012 *Standard for Smoke Control Systems* 中文名称：NFPA 92-2012 《烟气控制系统标准》	美国国家防火协会（NFPA）标准。 NFPA 92-2012 在 2011 年 8 月 15 日被批准为美国国家标准。 本标准适用于烟气控制系统的设计、安装、接收测试、运行和周期性测试。 本标准规定了烟气控制系统的相关定义、烟气控制系统的设计基础和设计方法、排烟系统的计算方法、以烟气控制为目的建筑设备及其控制、烟气控制系统在设计阶段输出文件的内容要求、烟气控制系统的测试要求
11	SMACNA *HVAC System Duct Design 2006* 中文名称：SMACNA 《HVAC 系统风管设计 2006》	美国金属板材及空气调节承包商协会（Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association，SMACNA）编制的技术手册。 本手册只适用于风管的设计，不包括空气调节负荷及通风的相关内容。 本手册主要内容包括风管材料，风管制作方法，风管系统的经济性，风管的布置，风管压力损失，风机选择，风管噪声，风管传热，风管安装、调试及运行
12	UL 555 *Standard for Fire Dampers（7th Edition，2006）* 中文名称：UL 555 《防火阀标准（第 7 版，2006）》	美国保险商实验室（Underwriter Laboratories Inc，UL）标准。 本标准涵盖了防火阀在下列情况的使用要求：在风道穿越墙体或隔断时，或在墙体或隔断开孔处；在隔断上的有气流通过的开孔；NFPA 90A 中的风道穿越楼板处。 防火阀安装应遵循 BOCA 国家机械标准、SBCCI 机械标准、ICBO 统一机械标准和国际机械标准
13	ANSI/UL 900-1995 *Standard for Air Filter Units* 中文名称：ANSI/UL 900-1995 《空气过滤器标准》	美国国家标准学会（ANSI）和美国保险商实验室（UL）标准。 本标准提出了对可清洗过滤器和一次性过滤器的可燃性能和发烟量的检测方法

（2）常用俄罗斯标准。火力发电厂供暖、通风与空气调节设计常用俄罗斯标准见表 1-10。

表 1-10　火力发电厂供暖、通风与空气调节设计常用俄罗斯标准

序号	标准号	标准名称
1	СНиП41-01-2003	建筑标准与规范 供暖、通风及空气调节
2	СП7.13130.2009	供暖、通风及空气调节消防要求
3	СНиП 2.04.05-91*）	火灾防烟保护建议
4	СНиП II-58-75	热电站建设标准与规范
5	РТМ 34-9ТЭП-04-79	室内/热电厂运煤线路暖通和除灰设计规范
6	ТЭП-ТХ.ОВ-04	主厂房典型设计方案供暖、通风的指导性文件
7	ТЭП-ТХ-ОВ-05-а-А4	电缆隧道及电气设备间供暖及通风设计标准方案
8	ТЭП-ТХ-ОВ-06	控制室内及计算技术设备室内空气调节标准设计方案
9	ТЭП-ТХ-ОВ-07	水处理厂房及试剂存储仓库的暖通设计标准方案

续表

序号	标准号	标准名称
10	СНиПii 2.09.04-87	行政办公楼规范
11	СНиП 41-02-2003	厂区热网规范

二、火力发电厂供暖通风与空气调节系统设计依据的自然条件

火力发电厂工程设计供暖、通风、除尘、空气调节的目的是满足生产工艺系统安全运行和电厂生产管理人员的健康工作环境要求。用句通俗的话说，火力发电厂暖通空气调节专业的使命可以概括为：要使火力发电厂各个生产工作区域，该暖的地方要“暖”，该凉的地方要“凉”，该干净的地方要“净”。

要实现上述三个字的目标，同时满足火力发电厂供暖通风与空气调节系统高效、节能、环保的设计要求，就必须充分依据项目所在地的自然条件，合理利用当地自然资源，选择合适的供暖通风与空气调节系统，以最小的资源消耗，达到环境控制的最佳结果。

（一）火力发电厂供暖通风与空气调节设计依据的气候条件

1. 按环境温度划分的我国气候分区

（1）GB 50176—2016《民用建筑热工设计规范》的相关规定。

GB 50176—2016 从建筑热工设计的角度出发，用累年最冷月（一月）和最热月（七月）平均温度作为分区主要指标，累年日平均温度不大于 5℃和不小于25℃的天数作为辅助指标，将全国划分成五个区，即严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖和温和地区，并提出相应的冬季保温和夏季防热设计要求，见表 1-11。

表 1-11　建筑热工设计分区及设计要求

分区名称	分区指标		设计要求
	主要指标	辅助指标	
严寒地区	最冷月平均温度：≤-10℃	日平均温度不大于 5℃的天数：≥145d	必须充分满足冬季保温要求，一般可不考虑夏季防热
寒冷地区	最冷月平均温度：-10～0℃	日平均温度不大于 5℃的天数：90～145d	应满足冬季保温要求，部分地区兼顾夏季防热
夏热冬冷地区	最冷月平均温度：0～10℃；最热月平均温度：25～30℃	日平均温度不大于 5℃的天数：0～90d；日平均温度不小于 25℃的天数：40～110d	必须满足夏季防热要求，适当兼顾冬季保温
夏热冬暖地区	最冷月平均温度：>10℃；最热月平均温度：25～29℃	日平均温度不小于 25℃的天数：100～200d	必须充分满足夏季防热要求，一般可不考虑冬季保温
温和地区	最冷月平均温度：0～13℃；最热月平均温度：18～25℃	日平均温度不大于 5℃的天数：0～90d	部分地区应考虑冬季保温，一般可不考虑夏季防热

（2）我国按温度条件划分的气候分区及代表性城市见表 1-12。

表 1-12　我国按温度条件划分的气候分区及代表性城市

气候分区	代表性城市
严寒地区	海伦、博克图、伊春、呼玛、海拉尔、满洲里、齐齐哈尔、富锦、哈尔滨、牡丹江、克拉玛依、佳木斯、安达、长春、乌鲁木齐、延吉、通辽、通化、四平、呼和浩特、抚顺、大柴旦、沈阳、大同、本溪、阜新、哈密、鞍山、张家口、酒泉、伊宁、吐鲁番、西宁、银川、丹东
寒冷地区	兰州、太原、唐山、阿坝、喀什、北京、天津、大连、阳泉、平凉、石家庄、德州、晋城、天水、西安、拉萨、康定、济南、青岛、安阳、郑州、洛阳、宝鸡、徐州
夏热冬冷地区	南京、蚌埠、盐城、南通、合肥、安庆、九江、武汉、黄石、岳阳、汉中、安康、上海、杭州、宁波、宜昌、长沙、南昌、株洲、永州、赣州、韶关、桂林、重庆、达县、万州、涪陵、南充、宜宾、成都、遵义、凯里、绵阳
夏热冬暖地区	福州、莆田、龙岩、梅州、兴宁、英德、河池、柳州、贺州、泉州、厦门、广州、深圳、湛江、汕头、海口、南宁、北海、梧州
温和地区	昆明、玉溪、曲靖、攀枝花、丽江、昭通、贵阳、六盘水

注 根据 JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》，依据不同的供暖度日数（HDD18）和空气调节度日数（CDD26），将严寒地区和寒冷地区进一步分为 5 个气候子区，详见该标准相关规定。

2. 按环境湿度划分的我国气候分区

我国按环境湿度划分的气候分区及代表性城市见表1-13。

表1-13 我国按环境湿度划分的气候分区及代表性城市

区域划分	湿球温度	代表性城市
干燥地区	t_s<23℃	拉萨、西宁、乌鲁木齐、昆明、兰州、呼和浩特、银川
中等湿度地区	23℃≤t_s<28℃	贵阳、太原、哈尔滨、长春、沈阳、西安、北京、成都、重庆、济南、天津、石家庄、郑州
高湿度地区	t_s≥28℃	南宁、长沙、广州、上海、福州、杭州、南京、合肥、海口、南昌、武汉

注 表中湿球温度 t_s 为夏季空气调节室外计算湿球温度。

3. 各气候区域的特点

（1）严寒地区。严寒地区的气候特点是冬季漫长，日平均温度低，气温寒冷，多大风；夏季短促、凉爽，气温年差较大，日照较丰富。

（2）寒冷地区。寒冷地区的气候特点是冬季寒冷、干燥，夏季炎热、湿润，气温年差较大，日平均气温差较大。

（3）夏热冬冷地区。夏热冬冷地区的气候特点是夏季闷热，冬季湿冷，空气湿度常保持在80%左右。我国沿长江的几大“火炉”基本都集中在该地区。

（4）夏热冬暖地区。夏热冬暖地区的气候特点是夏季漫长、湿热，冬季短暂、温和，几乎长夏无冬。气温的年较差和日较差都很小。太阳辐射强烈，雨量充沛，空气湿度大。

（5）温和地区。温和地区的气候特点是冬湿、夏凉，干湿季节分明。既无冬季严寒，又无夏季酷热，即所谓的“四季如春”的地方。常年多雷、暴雨、多雾，气温年较差小、日较差大。部分地区冬季最低气温偏低。

（6）干燥地区。干燥地区的气候特点是年蒸发量远高于年降雨量，全年平均相对湿度较低，冬季相对湿度最低。干燥地区一年四季昼夜温差较大。夏季白天很热，夜间凉爽；冬季白天日照充足，相对温暖，夜间寒冷。

（7）中等湿度地区。中等湿度地区的气候特点是降水主要集中在夏季，西南地区冬季少雨，华北和东北地区冬季以降雪为主。中等湿度地区夏季空气湿度适中，冬季相对湿度较低。

（8）高湿度地区。高湿度地区的气候特点是年降雨量高于年蒸发量，全年平均相对湿度较高，夏季相对湿度最高。高湿度地区昼夜温差较小，夏季普遍湿热，冬季个别地区阴冷。

（二）各气候区域内火力发电厂供暖通风与空气调节系统的一般设计原则

1. 严寒地区

建在严寒地区的火力发电厂，全厂建筑物都需要考虑集中供暖，包括汽机房、除氧间、煤仓间和锅炉房在内的主厂房建筑，以及各类生产辅助建筑和附属建筑都需要考虑安全可靠的供暖设施。对于高大厂房（如主厂房、翻车机室、卸煤沟）建筑，为了避免因大量冷风渗透而导致室内温度过低，设计供暖系统时一般需要考虑采用大门热风幕等热风补偿的供暖措施。严寒地区的火力发电厂需要充分考虑冬季因燃煤结冻而出现的卸煤、上煤困难问题。对于某些特殊的极寒地区（冬季最低温度可达−50℃），某些电气设备（如SF_6断路器）也要考虑保温措施。

在严寒地区的火力发电厂设计中，暖通专业应与建筑专业密切配合，高度关注各生产厂房的建筑保温设计。

2. 寒冷地区

建在寒冷地区的火力发电厂，全厂建筑物一般需要考虑集中供暖。寒冷地区的主厂房封闭方式与严寒地区不同，汽机房（除氧间）一般采用全封闭建筑，煤仓间和锅炉房大多采用紧身封闭。某些接近严寒气候条件的寒冷地区的高大厂房（如主厂房、翻车机室、卸煤沟）建筑，为了避免因大量冷风渗透而导致室内温度过低，设计供暖系统时也需要考虑采用大门热风幕等热风补偿的供暖措施。

寒冷地区除冬季需要设计可靠的供暖系统以外，夏季还需要考虑降温通风设施。对于人员办公场所，如各类控制室、值班室、操作员室、办公室等场所，需要设计适宜的空气调节系统。

3. 夏热冬冷地区

建在夏热冬冷地区的火力发电厂，暖通专业主需要解决的问题是夏季降温。建在该类地区的主厂房，汽机房一般采用全封闭建筑结构，锅炉房一般采用露天布置。暖通专业需要向建筑专业提出围护结构的隔热保温要求。汽机房需要考虑可靠地通风降温措施。集中控制室、值长室、电子设备间、各类就地控制室等，都需要考虑可靠的空气调节设施，以确保工作人员健康舒适的工作环境和设备的正常运行。

该地区的火力发电厂还需要充分考虑冬季保暖。特别是人员工作场所，需要设计适宜的供暖设施，确保室内温度满足相关要求。集中控制室、电子设备间等场所，可通过设计全年性空气调节系统来满足室内温度及相对湿度要求，其他建筑物可设计合适的供暖系统来保证冬季供暖需求。

4. 夏热冬暖地区

建在夏热冬暖地区的火力发电厂，暖通专业主要

解决的问题依然是夏季降温。建在该地区的火力发电厂，汽机房一般采用全封闭建筑结构，锅炉房及其他工业建筑多采用露天布置。对于全封闭的建筑物，暖通专业需要向建筑专业提出围护结构的隔热保温要求。汽机房需要考虑可靠的通风降温措施。集中控制室、值长室、电子设备间、各类就地控制室等，都需要考虑可靠的空气调节设施，以确保工作人员健康舒适的工作环境和设备的正常运行。

该地区的火力发电厂一般不考虑冬季供暖。对于集中控制室、电子设备间等场所，可根据电厂所在地的具体气候条件，确定是否设计全年性空气调节系统来满足室内温度及相对湿度要求。

5. 温和地区

对于建在温和地区的火力发电厂，如果仅考虑室外气候条件，主厂房及全厂的辅助建筑既不用考虑夏季降温，也不用考虑冬季供暖。但在实际工程建设中，考虑到火力发电厂内某些建筑（场所）的特殊性，也需要考虑一些局部的空气调节设施和供暖设施，主要依据业主的需求而定。

6. 干燥地区

干燥地区大多属于严寒、寒冷地区。对于这类地区，冬季又是一年最干燥的季节，进入供暖季以后，室内相对湿度有时会达到很低的水平（30%以下），有些场所应考虑室内加湿措施。

对于干燥地区的燃煤火力发电厂，应高度关注燃料输送系统的煤尘污染问题。由于气候干燥，电厂燃煤的表面水分在进入电厂前可能已经基本丢失，在进入电厂储存和转运的各个环节中，因原煤过干而导致的煤尘飞扬就会变得格外严重，是电厂内环境污染的重灾区。设计该类地区的燃煤火力发电厂时，运煤系统的煤尘防治是暖通专业的重点难题。目前，煤尘防治的最有效手段就是综合治理，暖通专业应积极配合运煤、建筑、给排水等专业，做好运煤转运环节的密闭、缓解、加湿原煤、喷雾抑尘、通风除尘、水力清扫等设施，综合防治煤尘污染。

7. 高湿度地区

高湿度地区主要集中在夏热冬暖、温和地区和部分夏热冬冷地区。对这些地区的火力发电厂，为了保证设备安全运行和工作人员的舒适，设计通风空气调节系统时应考虑除湿措施。

高湿度地区的燃煤火力发电厂，运煤系统可不考虑原煤加湿及喷雾抑尘措施。

（三）火力发电厂供暖通风与空气调节设计工况的修正调整

1. 高海拔地区设计工况调整

（1）高海拔地区大气压力的变化。与平原地区相比，高海拔地区大气压力下降明显。在海拔 4000m 以下，海拔每升高 1000m，大气压力下降约 10%。海拔为 0m 时，大气压力为 1013hPa（即标准大气压）；海拔为 2000m 时，大气压力为 795hPa；海拔为 3000m 时，大气压力为 701hPa。

不同海拔对应的环境参数（包括大气压力、空气密度、空气中含氧量）见表 1-14。

表 1-14　不同海拔对应的环境参数

海拔（m）	大气压力（hPa）	空气密度（kg/m^3）	空气中含氧量（kg/m^3）
0	1013	1.293	0.272
500	954.4	1.218	0.256
1000	898.6	1.147	0.241
1500	845.4	1.079	0.227
2000	794.8	1.015	0.213
2500	737.7	0.953	0.200
3000	701.0	0.895	0.188
4000	624.0	0.802	0.179
5000	549.0	0.719	0.166

（2）高海拔地区环境温度的变化。在海拔 1000m 以上时，每升高 100m，最高环境温度将下降 0.5℃。

（3）高海拔地区空气密度和含氧量的变化。空气密度和含氧量随海拔升高和大气压力降低而减小。海拔越高，相同质量流量的空气体积流量增大，空气中相对含氧量越低。对建在高海拔地区的火力发电厂，由于空气密度和含氧量的变化，对锅炉燃烧系统和烟风系统设计，以及相关主辅机设备选型都将产生较大影响。

2. 高海拔地区对锅炉的影响分析（以海拔 2500m 为例）

（1）海拔对锅炉燃烧的影响。海拔越高，空气越稀薄，氧气越缺少（单位体积空气内的氧气质量减少），煤粉着火时间越要推迟，火焰中心抬高，煤粉燃烧迟钝，煤粉在炉内燃烧时间缩短，使炉膛出口烟气温度上升，排烟温度升高，排烟热损失增加。另外，煤粉在炉内燃烧时间缩短、煤粉的燃尽率降低，机械不完全燃烧热损失增加。

对高海拔地区的锅炉，须选取比平原地区更大的炉膛断面和燃尽高度，以保证煤粉的燃尽及达到要求的排烟温度。

（2）海拔对锅炉传热的影响。海拔增高、空气密度低，火焰黑度及炉膛黑度均有所下降，导致炉膛辐射吸热量减少。引起排烟温度升高，使排烟热损失增加，造成锅炉燃烧效率降低。因此，在炉膛计算时必须考虑气压对炉膛辐射的影响，从而选取合适的炉膛受热面积。

（3）海拔对烟风道设计的影响。海拔对烟气和空气的体积流量有很大影响，海拔 2500m 地区的烟气、空气体积是平原地区的 1.37 倍，在烟气流速、管道口径的选择上需要考虑到这一点，保证受热面防磨损和换热效果相平衡。

3. 高海拔地区对风机设备的影响分析（以海拔 2500m 为例）

按照 DL/T 5240—2010《火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程》的规定，海拔大于 300m 时，风机的风量、烟风道的风量等需要考虑大气压修正。

以海拔 2500m 地区为例，烟风管道计算时海拔的大气压修正系数为 1013hPa/737.7hPa=1.37。即烟风流量比平原地区（300m 海拔以下）放大 37%。风机设备设计选型时需要按照修正以后的烟风流量选择设备，以满足锅炉在高海拔、低气压条件下的设计出力要求。

4. 高海拔地区对电气设备的影响分析

（1）对介质绝缘强度的影响。空气的介质绝缘强度是随着气压的升高而增加的，在空气稀薄或真空状态下又随着真空度的提高而增加。试验表明，海拔每升高 1000m，平均气压降低 7.7～10.5kPa，外绝缘强度降低 8%～13%。

（2）对电气间隙击穿电压的影响。空气密度的降低，会引起电气间隙击穿电压的降低。对于设计定型产品，由于电气间隙已经固定，随着气压降低，击穿电压也下降。为了保证高原电气设备的耐击穿能力，必须增大电气间隙。

（3）对电晕及放电电压的影响。高海拔、低气压使高压电动机的局部放电起始电压降低、电晕起始电压降低、电晕腐蚀严重。

（4）对介质冷却效应的影响。空气压力或空气密度的降低引起空气介质冷却效应的降低，导致产品温升增加。对于以自然对流、强迫通风或空气散热器为主要散热方式的电工产品，由于散热能力下降，导致设备温升增加。在海拔 1000～5000m 范围内，每升高 1000m，温升增加 3%～10%。

三、火力发电厂各建筑物室内环境要求

火力发电厂是重要的能源企业，厂内各类建筑属于特殊工业建筑。为了满足火力发电厂生产工艺的运行要求，同时满足工作人员的劳动环境和职业卫生要求，各个建筑物的室内温度及相对湿度需要有一个基本要求，作为设计火力发电厂供暖通风及空气调节系统的基本依据。

对于火力发电厂各建筑物室内温湿度的控制标准，不同的国家和地区要求各不相同。室内设计参数的标准确定，不仅关系到工艺设备的可靠运行和使用寿命，以及人员的舒适性需求，还涉及节能环保等国家政策问题，因此，我国对火力发电厂建筑物室内设计参数的控制标准也一直随着社会经济的发展在不断调整。

根据 DL/T 5035—2016《发电厂供暖通风与空气调节设计规范》的要求，我国对火力发电厂各建筑物室内设计参数的控制标准见附录 A。

第二章

主厂房供暖通风

第一节　主厂房生产工艺系统及布置简介

一、燃煤发电厂主厂房

（一）概述

燃煤发电厂主厂房是放置热能动力装置的建筑，是电厂最主要的设备运行、操作、围护和检修的场所，通常被划分为汽机房、除氧间、煤仓间、锅炉房四大区域。其中汽机房与除氧间可以采用合并布置方式，煤仓间根据布置位置不同，可分为前煤仓和侧煤仓两种方案，采用侧煤仓布置方案时也可与锅炉房联合布置。

汽机房和除氧间主要用于布置汽轮发电机组、高低压加热器、给水泵、除氧器以及热力系统的其他附属设备和相应的管道等。锅炉房和煤仓间用来布置锅炉本体设备及管道、制粉系统的设备以及烟道、风道和煤粉管道。大中型机组的集中控制楼一般布置在两台炉之间或汽机房固定端外侧，有的小型机组控制区布置在除氧间跨。

（二）燃煤发电厂主厂房布置

燃煤发电厂主厂房布置包括汽轮发电机组和锅炉及其辅助设备、回热加热器、电气设备、单元控制室和集中控制室、管道和电缆、烟气净化装置和检修起吊装置等综合布置。

1. 汽轮发电机组

汽轮发电机组一般采用屋内布置，有纵向布置和横向布置两种方式。纵向布置时机组纵轴线与汽机房的纵轴线平行，主厂房跨度较小，但长度较长。横向布置时机组横轴线与汽机房的纵轴线相互垂直，机组头部朝向锅炉，一般汽轮机与锅炉中心重合以缩短汽水管道的长度。横向布置时的主厂房跨度较大，长度较短。

汽机房运转层有大平台式和岛式两种布置方式。大平台式布置是将各台机组的运转层楼板连接成片，平台上留有供垂直起吊用的孔洞，运转层宽敞明亮，可以充分利用中间夹层，使运行和检修的活动范围比较宽裕。岛式布置是每台机组各自独立，用走道相连接，节省土建工程量。300MW 级以上机组大多采用大平台式布置。

2. 回热加热器

回热加热器包括高低压加热器、除氧器等设备。高低压加热器有立式和卧式两种类型，中小型机组多采用立式加热器，大型机组多采用卧式加热器。立式加热器一般布置在运转层以下，上部设有带活动盖板的孔洞，供检修起吊用。卧式加热器多布置在汽机房或除氧间各层。压力较低的低压加热器一般设置在凝汽器内。

除氧器有立式和卧式两种类型，水箱均为卧式，除氧器给水箱的安装标高应保证在汽轮机甩负荷瞬态工况下，给水泵或其前置泵的进口不发生汽化。在气候、布置条件合适时，除氧器给水箱宜采用露天布置。

3. 汽轮机辅助设备

汽轮机辅助设备包括凝汽器、真空泵、凝结水泵、润滑油主油箱、EH 油集装装置、凝结水精处理装置、闭式水冷却器等，多布置在汽机房零米地面上。凝结水泵布置在凝汽器热井附近。

当采用冷却塔循环供水系统时，单机容量为 300MW 及以下机组的循环水泵，在条件许可时可设在汽机房内或汽机房披屋内。

4. 锅炉

锅炉一般采用露天布置，在炉前、燃烧器及汽包等处设维护区，以方便运行检修。严寒地区的中小型锅炉采用室内布置，大型锅炉多采用整体的围护紧身封闭措施，即在锅炉周围的走道外侧设置围护结构加以封闭。当厂址靠近市区对环境噪声有要求时，也采用室内布置或围护紧身封闭方式。在寒冷地区锅炉半封闭形式比较常见，即运转层以上露天，运转层以下封闭。

大型锅炉运转层多采用岛式布置或钢格栅大平台式布置，通常运转层与煤仓间各层采用走道相连通。

5. 锅炉辅助设备

锅炉辅助设备包括一次风机、送风机、引风机、磨煤机、给煤机、除尘器、脱硫脱硝设备等。一次风机、送风机一般布置在锅炉两侧或尾部的零米地面上。引风机布置在炉后通向烟囱的地面上。磨煤机、给煤机等设备及原煤仓、煤粉仓一般布置在炉前或炉侧的煤仓间内。

煤仓间布置在炉侧的称为侧煤仓，和除氧间相连的称为内煤仓或前煤仓。与除氧间合并布置的称为除氧煤仓间。

火力发电厂多采用内煤仓布置。煤仓间一般为封闭建筑，自上而下分层布置，分别为运煤皮带、原煤仓、给煤机，磨煤机布置在零米地面上。在决定原煤仓和煤粉仓顶面标高时，需保证煤斗有效容积满足有效储煤量要求，即按设计煤种满足锅炉最大连续蒸发量时 8h 以上的耗煤量。

6. 电气设备

电气设备包括主变压器、厂用变压器、厂用配电装置、出线等设备。发电机引出线及有关设备布置在汽机房运转层下的外侧柱边。大型发电机组的主变压器、高压厂用变压器布置在汽机房外侧，用封闭母线连接。中小型发电机组的主变压器布置在主厂房外侧的升压站内。低压厂用变压器和高、低压厂用配电装置视机组容量和主厂房的格局，布置在除氧间底层或分散在设备附近，有时布置在两炉之间的综合控制楼底层和中间层内。

7. 单元控制室和集中控制室

单元控制室是火力发电厂单元机组的控制中心，一般布置在汽机房和锅炉房之间。集中控制室是将多台机组的控制中心集中布置，一般设置在集中控制楼。

8. 管道和电缆

汽水管道一般布置在汽机房底层和夹层及除氧间内，烟风煤管道一般布置在锅炉房底层和炉后。汽水管道和烟风煤管道力求短捷、顺畅，支吊合理，满足自由膨胀的要求。

大中型火力发电厂的电缆多为架空布置，也可布置在沟道、隧道或地下室内。

9. 烟气净化装置

烟气净化装置包括除尘器和脱硫脱硝装置，一般采用露天布置，在寒冷地区采用封闭布置。脱硫装置布置在除尘器和烟囱之间。脱硝装置一般布置在锅炉本体后侧。

10. 检修起吊装置

汽轮发电机组需配备检修起吊用的桥式起重机，其主钩用来起吊汽轮机上盖、转子及发电机转子等大型部件，副钩用于辅助作业和起吊小型部件。发电机定子在安装时允许采用临时措施。大型锅炉每 1～2 台机需设 1 台人、物两用电梯，连接锅炉各主要平台。主厂房内设备的检修需配备必要的起吊设施和空间。汽轮机需有足够的检修场地。

典型的燃煤发电厂主厂房平面及断面布置示意如图 2-1 所示。

二、燃气-蒸汽联合循环电厂主厂房

（一）概述

燃气-蒸汽联合循环电厂主厂房的布置多种多样，本手册主要介绍最基本的联合循环形式的主厂房。

联合循环机组由燃气轮机、余热锅炉、汽轮机、发电机及相关附属设备组成，可分成单轴联合循环机组和多轴联合循环机组。单轴联合循环机组采用燃气轮机、汽轮机、发电机连接在同一轴上的配置方式，由燃气轮机和汽轮机同时驱动发电机发电；多轴联合循环机组采用燃气轮机与汽轮机分别驱动各自的发电机且不连接在同一轴上的配置方式，多轴联合循环机组通常有下列组合形式：1+1（或称一拖一）机组、2+1（或称二拖一）机组。

（1）1+1（或称一拖一）机组。是由一台燃气轮发电机组和一台余热锅炉、一台汽轮发电机组成的联合循环发电机组，燃气轮机和汽轮机分别驱动各自的发电机，其主要特点是燃气轮机驱动一台发电机，汽轮机驱动另一台发电机，两台发电机分别处在不同的轴系中，汽轮机的蒸汽来自于利用对应燃气轮机排气余热的余热锅炉。

（2）2+1（或称二拖一）机组。其是由两台燃气轮发电机组和两台余热锅炉、一台汽轮发电机组组成的多轴联合循环发电机组，其主要特点是两台燃气轮机分别驱动各自的发电机，汽轮机驱动另一台发电机，他们分别处在不同的轴系中，汽轮机的蒸汽来自于利用对应两台燃气轮机排气余热的两台余热锅炉。

（二）燃气-蒸汽联合循环电厂的主厂房布置

燃气-蒸汽联合循环电厂的主厂房一般由燃气轮机、汽轮机及余热锅炉三个区域组成。

联合循环电厂主厂房布置包括燃气轮机及其辅助设备、余热锅炉及其辅助设备、汽轮机及其辅助设备、厂用电设备、控制室、电缆等设备的布置。下面主要以 E 级和 F 级燃气轮机为例，介绍联合循环电厂主厂房布置。

1. 燃气轮机及其辅助设备

以发电为主要目的的大型燃气-蒸汽联合循环发电机组选用重型燃气轮机。燃气轮机可采用气体燃料（包括天然气、液化天然气 LNG、液化石油气 LPG 等）或液体燃料（包括轻油、重油和原油等），F 级燃气轮机可使用除重油和原油以外的其他燃料，E 级、E 级改进型燃气轮机可使用上述所有燃料。

燃气轮机本体包括透平、压气机、燃烧室、转动部件及润滑油系统。燃气轮机的主要辅机包括：①燃气轮机进气系统；②燃气轮机清洗系统，用于对压气机和透平的清洗，以恢复燃气轮机的功率；③燃气轮机的注水或注蒸汽系统，为了保证燃气轮机排气中氮氧化物的含量满足环保要求时，设置向燃气轮机燃烧室内注水（除盐水）或注蒸汽；④燃气轮机冷却水系统，满足燃气轮机本体、燃气轮机辅助机械设备以及发电机对其流量、温度、压力等参数要求；⑤通风和加热系统，目的是使燃气轮机各间室保持在固定温度范围内及稀释燃气轮机各间室泄漏的烟气和燃料气等气体的功能；⑥燃气轮机排污系统，燃用液体燃料的燃气轮机，就近设置排放含油污水坑和燃气轮机启动失败的燃油疏油坑。

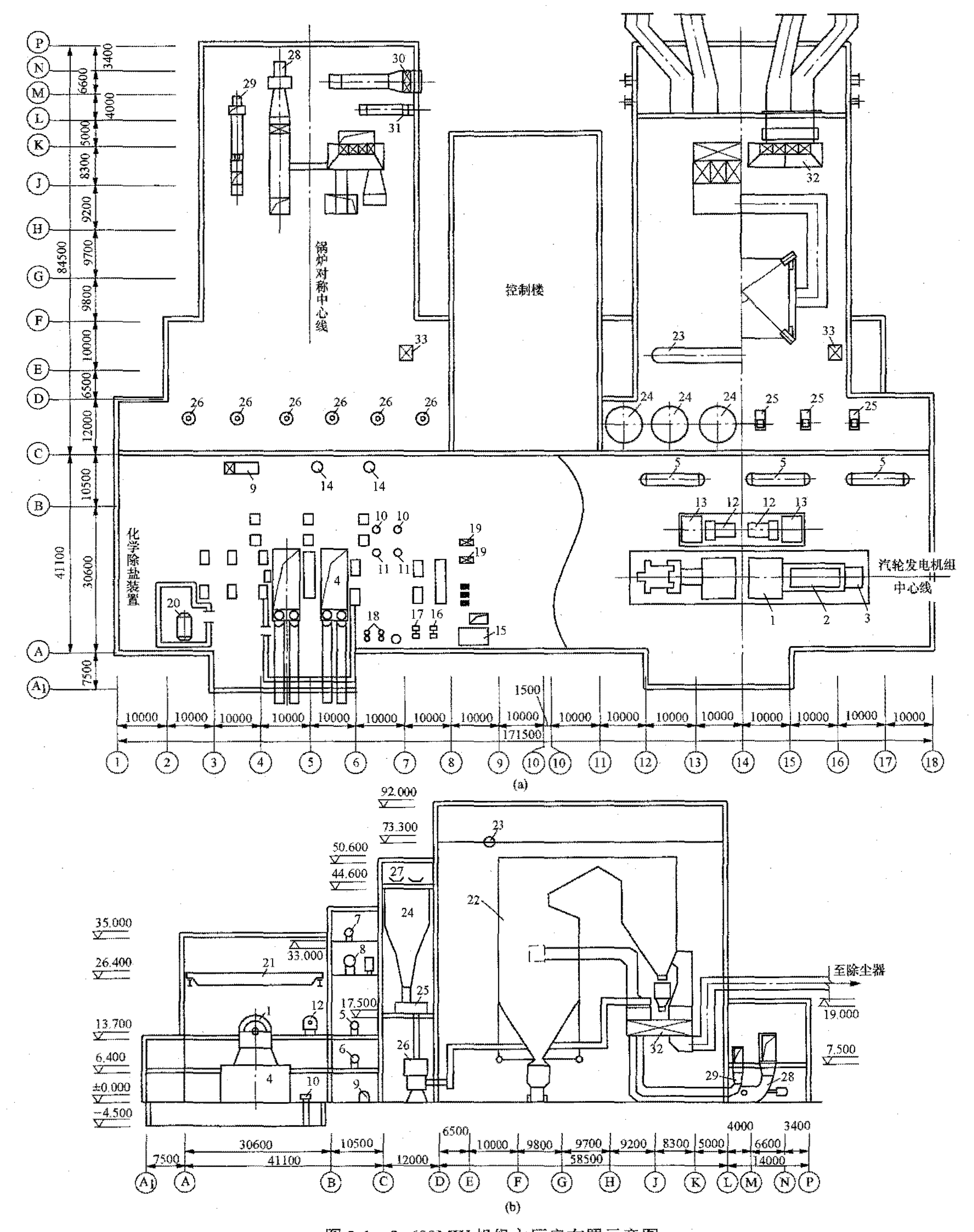


图 2-1　2×600MW 机组主厂房布置示意图

（a）平面图；（b）断面图

1—汽轮机；2—发电机；3—励磁机；4—凝汽器；5—高压加热器；6—低压加热器；7—除氧器；8—除氧水箱；9—电动给水泵；10—凝结水泵；11—凝结水泵入口过滤器；12—给水泵汽轮机；13—汽动给水泵；14—汽动给水泵前置泵；15—储存油箱；16—开式循环冷却水泵；17—开式循环冷却水泵冷却水过滤器；18—氢冷却器冷却水泵；19—开式循环冷却水泵；20—汽轮机润滑油箱；21—桥式起重机；22—锅炉；23—汽包；24—煤斗；25—给煤机；26—磨煤机；27—运煤皮带层；28—送风机；29—一次风机；30—二次热风器；31—一次热风器；32—空气预热器；33—电梯

对于E级、E级改进型燃气轮机电厂一般采用带封闭罩壳的露天布置。对于F级燃气轮机电厂，按燃气轮机制造厂商的典型布置，燃气轮机采用室内布置。

2. 余热锅炉及其辅助设备

对于纯发电的燃气轮机电厂，余热锅炉一般采用不补燃型。对于需供热的燃气轮机电厂可采用补燃的余热锅炉来满足热负荷以及供热参数的要求。

余热锅炉主要辅机包括：①给水泵，置于余热锅炉旁零米地面上；②除氧器，可分为独立式和整体式，一般与余热锅炉低压汽包合并的整体式除氧器优先采用；③排污装置，置于余热锅炉旁零米地面上；④吹灰和水清洗装置，在燃料为重油时设置；⑤旁通烟囱和旁通挡板。

对于E级、E级改进型燃气轮机电厂，余热锅炉布置的位置应根据燃气轮机排气方向而定，有沿燃气轮机轴向布置，也有与燃气轮机垂直布置。对于E级或F级燃气轮机电厂，余热锅炉采用室内或露天布置应根据室外温度和风沙情况来决定。

3. 汽轮机及其辅助设备

联合循环发电用的汽轮机与一般的火力发电用的汽轮机相比，在原理上是相同的，结构上也几乎类似，但联合循环用汽轮机也有不同于一般汽轮机的特点。联合循环用汽轮机不设置给水加热器。

汽轮机主要辅机包括汽轮机旁路装置、凝汽器、凝结水泵、真空泵。

对于E级、E级改进型燃气轮机电厂，汽轮机采用室内布置，汽机房的位置尽量靠近余热锅炉。当汽轮机为轴向排汽时，采用低位布置，不设运转层；当汽轮机为向下排汽时，采用高位布置，设运转层。对于F级燃气轮机电厂，汽轮机一般采用室内布置。对于E级或F级燃气轮机电厂，凝汽器、凝结水泵和真空泵均布置在汽机房零米上。

4. 厂用电设备

厂用电设备包括主变压器、厂用变压器、厂用配电装置、出线有关设备等。高压厂用配电间、低压配电间、直流和UPS配电装置根据工程的具体情况，可以布置在主厂房中或布置在主厂房临近区域，以便给主厂房中的设备供电。

5. 控制室

联合循环的燃气轮机电厂应设集中控制室。简单循环的燃气轮机电厂控制室可就地布置，也可多台燃气轮机的控制室集中布置。

6. 管道和电缆

汽水管道一般布置在底层或夹层内。

电缆根据实际情况分为架空布置、沟道或隧道布置。

7. 检修起吊装置

对多台单轴机组，若将单轴机组的横向尺寸作为桥式起重机的跨度，桥式起重机沿单轴机组轴向行走，每台单轴机组设一台桥式起重机。若将单轴机组的纵向尺寸作为桥式起重机的跨度，桥式起重机沿多台单轴机组横向行走，三台及以下单轴机组设一台起重机。主厂房内设备的检修需配备必要的起吊设施和检修空间。汽轮机、燃气轮机厂房需有足够的检修场地。

以F级二拖一燃气-蒸汽联合循环机组的一种布置方案为例，主厂房布置如图2-2所示。

第二节　主厂房供暖

一、主厂房供暖的特点及设计原则

1. 主厂房供暖的特点

（1）主厂房围护结构保温性能及蓄热性能差，造成供暖热负荷较大。

（2）主厂房温度场平面分布不均匀，靠外墙处温度低，主厂房中央温度高。

（3）主厂房竖向温度梯度大，底层温度低，上层温度高。

（4）大门开启冷风侵入量大，因此在大门启动和大修期间冷风侵入附加耗热量大。

（5）如果锅炉送风机在室内吸风，主厂房内吸风量大，带走大量热量。

2. 主厂房供暖设计的原则

计算主厂房供暖热负荷时，不计设备及管道散热量。对于严寒、寒冷地区的生产厂房、仓库、公用辅助建筑仅要求室内防冻时，室内防冻设计温度宜为5℃，因此火力发电厂主厂房按5℃设置值班供暖。

机组正常运行时，设备散热量很大，往往超过供暖热负荷，一般能保证室内10～16℃的温度。但是，如果散热设备集中布置在主厂房中央，对靠近外墙处的温度影响不大，外墙处温度主要受室外空气温度影响，因此供暖设备要求布置在靠外墙处，用于补偿围护结构的耗热量。同时根据主厂房底层温度低、上层温度高的特点，供暖设备要求尽量布置在底层。

实际设计中还应考虑一些非正常工况，如主厂房大门开启时间较长且频繁、扩建端封闭不严、大修、锅炉送风机在室内吸风等非正常情况。

二、主厂房供暖热负荷计算

（一）正常工况下主厂房供暖热负荷计算

正常工况下主厂房供暖热负荷计算包括围护结构基本耗热量及附加耗热量两部分内容。

1. 围护结构基本耗热量

围护结构基本耗热量按室内供暖计算温度5℃计算。

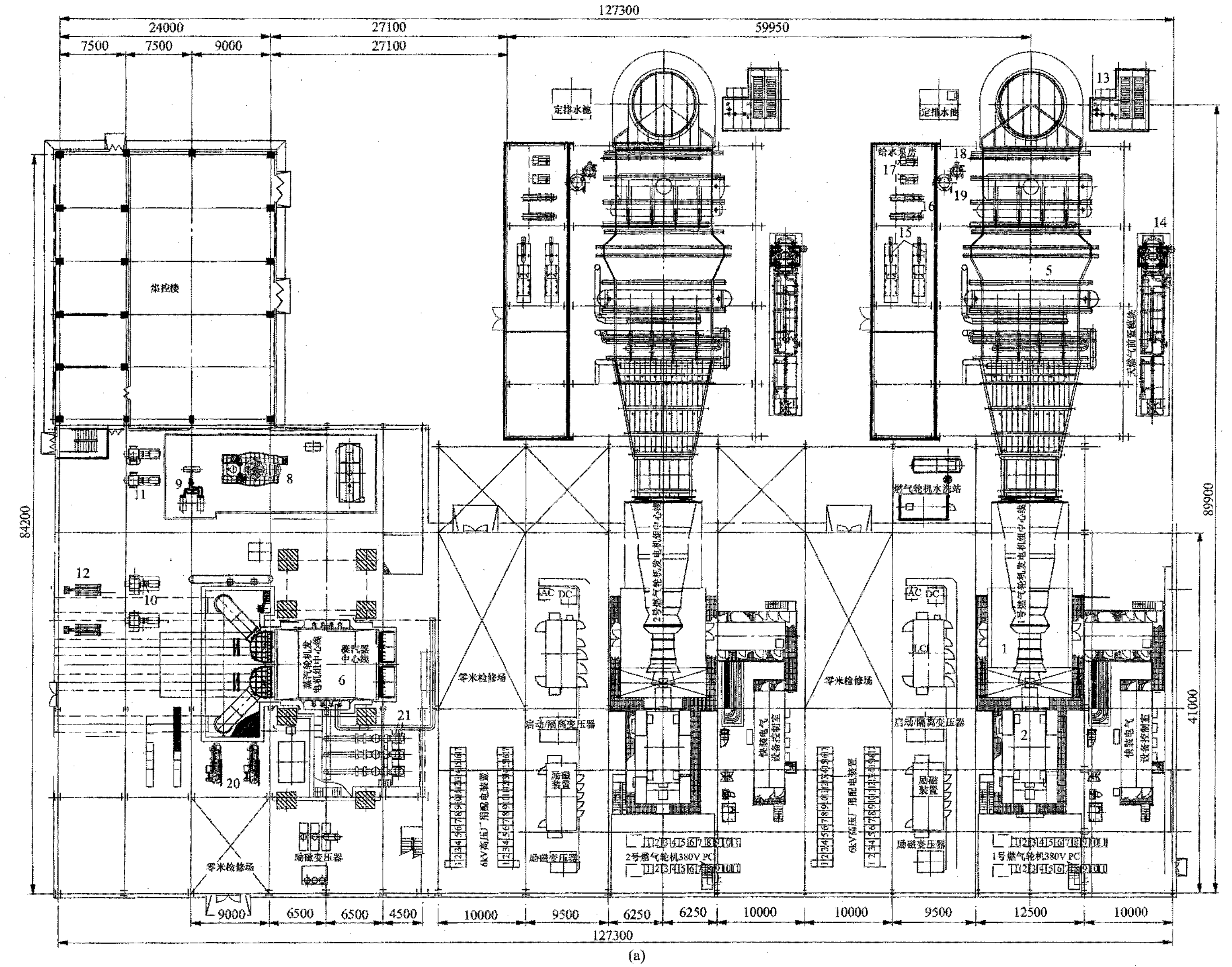


图 2-2 F 级二拖一燃气-蒸汽联合循环机组主厂房布置图（一）

（a）主厂房零米平面

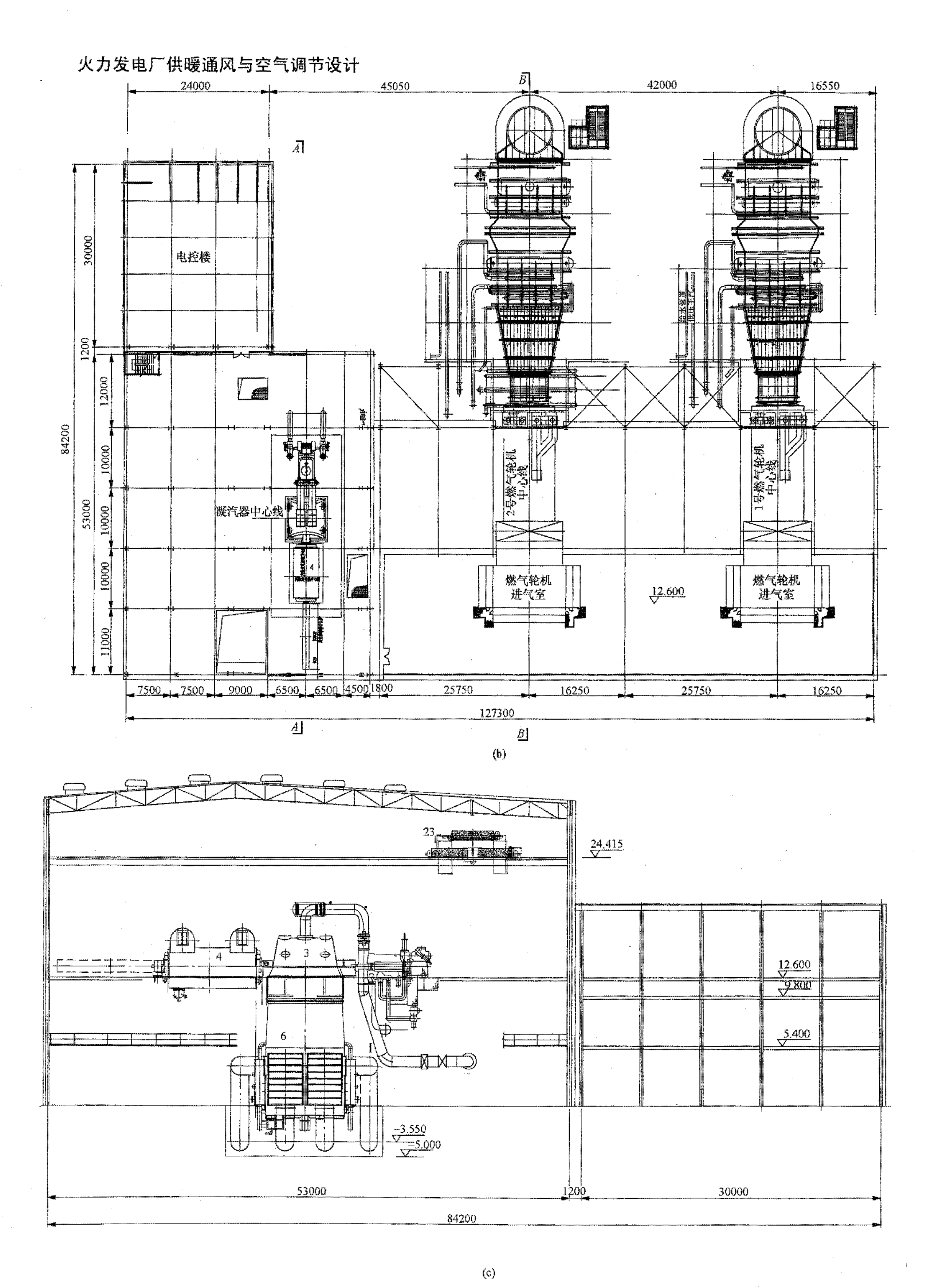
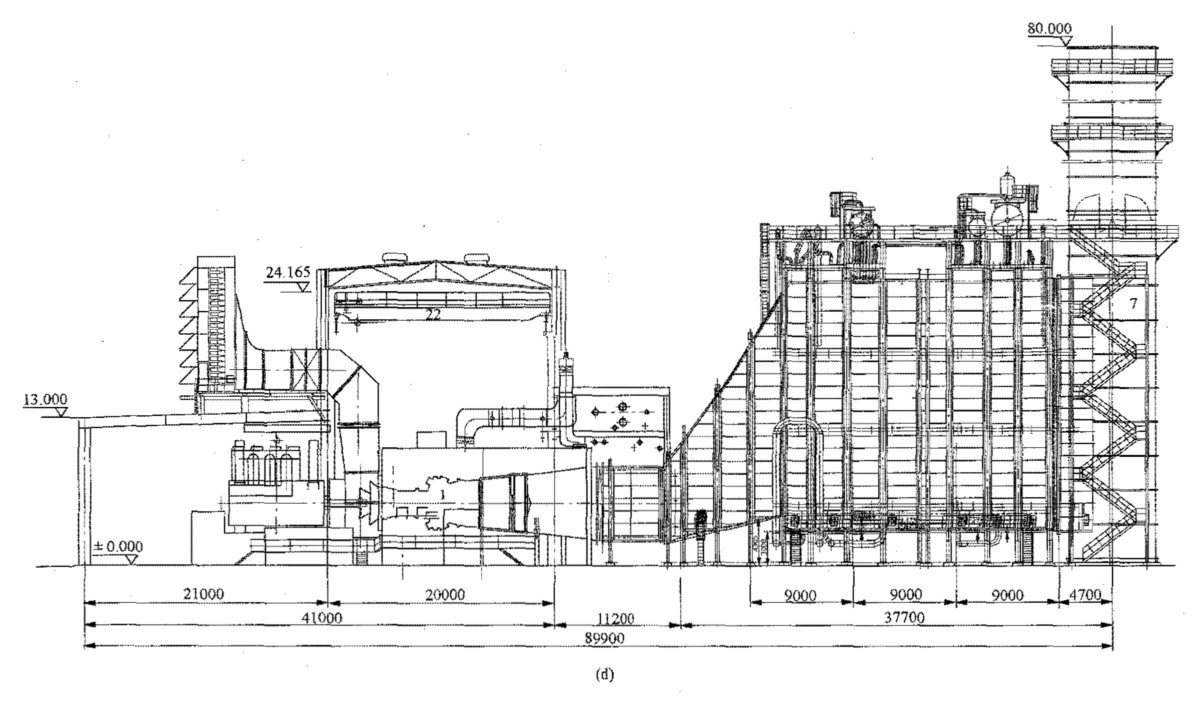


图 2-2　F 级二拖一燃气-蒸汽联合循环机组主厂房布置图（二）

（b）主厂房运转层平面；（c）A-A 断面



(d)

图 2-2 F级二拖一燃气-蒸汽联合循环机组主厂房布置图（三）

（d）*B-B* 断面

1—燃气轮机；2—燃气轮发电机；3—蒸汽轮机；4—蒸汽轮发电机；5—余热锅炉；6—凝汽器；7—钢制烟囱；8—润滑油箱；9—冷油器；10—开式冷却水泵；11—闭式冷却水泵；12—闭式水换热器；13—电梯；14—天然气前置模块；15—高压给水泵；16—中压给水泵；17—低压省煤器再循环泵；18—连续排污扩容器；19—定期排污扩容器；20—真空泵；21—凝结水泵；22—燃机房桥式起重机；23—汽机房桥式起重机

2. 围护结构附加耗热量

（1）朝向、风力附加耗热量。由于主厂房各个朝向都有，在计算中可以不考虑朝向附加。对于迎风面的外窗、外墙，当室外平均风速 $v>4$m/s 时考虑风力附加耗热量，4m/s$<v<$5m/s 时，附加 2%；$v>5$m/s 时，附加 5%。风力附加计算占整个主厂房热负荷比例很小，由于主厂房冷风渗透附加耗热量的取值已经比规范取值高出 10%，风力附加耗热量也可不用考虑。

（2）高度附加耗热量。根据 GB 50019—2015《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》要求，高度附加率取 2（H-4）%，且总的附加率不宜大于 15%，H 为房间的高度。高度附加率应附加于围护结构基本耗热量和其他附加耗热量之和的基础上。因此对于火力发电厂的主厂房，高度附加耗热量可按围护结构耗热量的 15%计算。

（3）冷风渗透附加耗热量。门窗缝隙渗透耗热量可按围护结构耗热量及高度附加耗热量之和的 50%计算。 根据 GB 50019—2015 规定，生产厂房冷风渗透耗热量可按围护结构总耗热量的百分比计算，当厂房高度超过 10m 时按 40%计算。火力发电厂主厂房高度远远超过 10m，考虑其他因素后，冷风渗透附加耗热量按围护结构总耗热量的 50%计算。

（4）外门附加耗热量。对于短时间开启的、无热风幕的外门，冷风侵入附加耗热量可采用外门基本耗热量乘以外门附加率计算。外门附加率取值宜符合下列要求（n 为建筑物的楼层数）：

1）一道门宜为 65%n。

2）两道门且有一个门斗时宜为 80%n。

3）三道门且有两个门斗时宜为 60%n。

4）主要出入口，外门冷风侵入附加耗热量可按外门基本耗热量的 500%计算。

对于火力发电厂的主厂房，外门附加耗热量主要根据 4）计算。

综合围护结构基本耗热量和附加耗热量两项内容，正常工况下主厂房供暖热负荷计算式为

$$Q=1.5\times1.15\times\left[\sum KA(t_{\mathrm{n}}-t_{\mathrm{w}})+5\sum K_{\mathrm{m}}A_{\mathrm{m}}(t_{\mathrm{n}}-t_{\mathrm{w}})\right] \quad (2\text{-}1)$$

式中 Q——正常工况下主厂房供暖热负荷，W；

K——各围护结构传热系数，W/（m^2·℃）；

A——各围护结构面积，m^2；

t_{n}、t_{w}——室内、外供暖计算温度，℃；

K_{m}——门的传热系数，W/（m^2·℃）；

A_{m}——外门面积，m^2。

（二）非正常工况下主厂房供暖附加热负荷计算

主厂房供暖热负荷，不仅应满足正常运行工况，

同时应能满足非正常工况，如启动、停机和大修期间大门开启时间较长且频繁、扩建端封闭不严等工况。如果锅炉送风机在室内吸风，还需考虑锅炉送风机在室内吸风所带走的热量。

1. 非正常工况下冷风侵入附加耗热量

（1）非正常工况下冷风侵入附加耗热量计算。非正常工况下，大门开启时间长、开启次数频繁，扩建端封闭不严，大量冷空气侵入主厂房，降低主厂房内温度，因此在严寒和寒冷地区，主厂房供暖设计中必须考虑该工况下的热负荷。

由于室外风速和风向经常变化，不是稳定因素，因此在计算冷风侵入附加耗热量时仅考虑热压作用，风压一般不予考虑。

热压作用下的冷风侵入附加耗热量可按式（2-2）～式（2-5）计算。

孔洞处余压计算式为

$$\Delta p_j = \Delta h_j(\rho_w - \rho_n)g \qquad (2\text{-}2)$$

式中 Δp_j ——进风孔洞处余压，Pa；

Δh_j ——进风孔洞处中心到中和界高差，m；

ρ_w——进风孔洞处室外空气密度，kg/m^3；

ρ_n——进风孔洞处室内空气密度，kg/m^3；

g——重力加速度，m/s^2。

空气流进孔洞处的速度计算式为

$$v_j = \mu\sqrt{\frac{2\Delta p_j}{\rho_w}} \qquad (2\text{-}3)$$

式中 v_j ——进风口风速，m/s；

μ ——进风口流量系数，大小与孔洞构造有关，一般小于1。

通过孔洞的空气流量计算式为

$$L_j = 3600A\rho_w v_j \qquad (2\text{-}4)$$

式中 L_j ——冷风侵入流量，kg/h；

A ——孔洞面积，m^2。

非正常工况下冷风侵入附加耗热量计算式为

$$Q_j = 0.278L_j c_p(t_n - t_w) \qquad (2\text{-}5)$$

式中 Q_j ——非正常工况下冷风侵入附加耗热量，W；

c_p ——冷空气的比定压热容，取1.01kJ/(kg·℃)。

以上冷风侵入附加耗热量计算是以排风为前提的，只有进风口，没有排风口，就不会有大量的冷风侵入。而实际上，主厂房的排风口、漏风点很多，如高侧窗、天窗、屋顶通风器及其他孔洞等。在计算中，需根据实际情况确定排风口的排风面积，从而计算出中和界高度，再根据式（2-2）～式（2-5）求出冷风侵入的附加耗热量。

（2）非正常工况下冷风侵入附加热负荷系数。为简化计算，非正常工况下冷风侵入附加耗热量按附加系数确定。冷风侵入附加热负荷系数宜取0.3～0.5，则总供暖热负荷为正常工况下供暖热负荷的1.3～1.5倍，在严寒地区可取大值。启动或大修期间的附加热负荷可以用暖风机来补偿。

2. 锅炉送风机在室内吸风时的风量及热量平衡

锅炉送风机在室内吸风将吸走大量空气，使锅炉房内形成负压，导致通过底层、运转层的门窗缝隙和其他孔洞渗进大量冷空气，从而降低主厂房温度。各种机组锅炉送风机在主厂房内吸走的风量及其带走的热量见表2-1。

表2-1　锅炉送风机吸风量及其耗热量

锅炉容量（t/h）	锅炉送风机吸风量			锅炉漏风量		室内总吸风量（$\times10^4$kg/h）	送风机带走热量（MW）	主厂房建筑耗热量（MW）
	总吸风量（$\times10^4$kg/h）	室内吸风比例（%）	室内吸风量（$\times10^4$kg/h）	漏风比例（%）	漏风量（$\times10^4$kg/h）			
670	90	20	18.0	13	11.7	29.7	4.12	2.3
1000	135	18	24.3	12	16.2	40.5	5.67	3.2

注　锅炉房炉顶温度 t=35℃，室外供暖计算温度 t_w=−20℃。

表2-1中吸风量是理想设计状态下的数据，由表2-1中数据可见，吸风带走的热量是建筑围护结构耗热量的1.8～2.5倍。因此，锅炉送风机在室内吸风量的比例应该严格控制。目前，300MW以上的机组锅炉送风机吸风口已经不再设在室内了。

锅炉送风机在室内吸风时的风量及热量平衡详见本章第三节。

（三）主厂房供暖设计估算热指标

在可行性研究和初步设计阶段，为了确定供暖系统的规模，需要计算主厂房供暖热负荷。但在这两个设计阶段，不可能详细计算主厂房热负荷，可利用表2-2所示的供暖热指标进行估算。

表2-2　主厂房供暖设计估算热指标

机组容量（MW）	供暖热指标 q（W/℃）	
50	汽机房	21480
	锅炉房	30060

续表

机组容量（MW）	供暖热指标 q（W/℃）	
100	汽机房	26160
	锅炉房	43600
200	汽机房	36520
	锅炉房	54670
300	汽机房	52340
	锅炉房	81410
600	汽机房	58150
	锅炉房	93000
1000	汽机房	72680
	锅炉房	108500

注 1. 主厂房供暖热负荷按冷态计算：$Q=q(t_n-t_w)$，式中 Q 为供暖估算热负荷，W；t_n 为室内供暖计算温度，取5℃；t_w 为室外供暖计算温度，℃。

2. 本表适用于前煤仓形式的主厂房，汽机房热指标中已包含了煤仓间。

3. 表中的数据为1台机组的；如果是2台机组，供暖热指标乘以1.80；3台机组，供暖热指标乘以2.70；4台机组，供暖热指标乘以3.60。

4. 表中数据已经考虑了冷风渗透和温度梯度的因素。

5. 本表已包含非正常工况下的附加热负荷。

三、主厂房供暖热源及热媒

1. 主厂房供暖热源

纯凝汽式电厂的厂区供暖汽源通常接自厂用蒸汽，厂用蒸汽的温度、压力参数较高，需要采取减温、减压措施，然后接到供暖分汽联箱或换热设备。供热电厂的供暖汽源接自主机供暖抽汽，抽汽压力为0.3～0.5MPa。各段抽汽的压力、温度等参数参见表8-4。当采用单台汽轮机抽汽作为厂区供暖加热热源时，应设置备用汽源。机组停运时，可采用来自启动锅炉房的蒸汽。有可靠余热可以利用的供暖通风系统宜采用余热作为热源。

2. 主厂房供暖热媒

发电厂厂区建筑集中供暖的热媒宜采用热水，供暖热水来自厂区供暖加热站，热媒温度可采用110/70℃或95/70℃。对于严寒地区，也可采用120/60℃或130/70℃的热水。热媒温度选择应根据供暖热源参数、室外供暖计算温度及主厂房供暖热负荷大小等，进行经济技术比较之后确定。此内容参见第八章第二节。

在严寒地区，由于主厂房热压大、冷风渗透量大、建筑耗热量大，特别是启动、大修期间等非正常工况下，主厂房内容易发生管道、设备冻结事故。根据设计、运行经验和业主要求，对于极严寒地区，在凝结水能有效回收的情况下，供暖热媒也可采用蒸汽，蒸汽压力可以采用0.3～0.5MPa，蒸汽温度不应超过160℃。

四、主厂房供暖系统设计

（一）主厂房供暖系统设计原则

主厂房供暖系统包括散热器供暖系统和热风供暖系统两部分。热风供暖系统包括暖风机和热风幕供暖及通风加热系统。

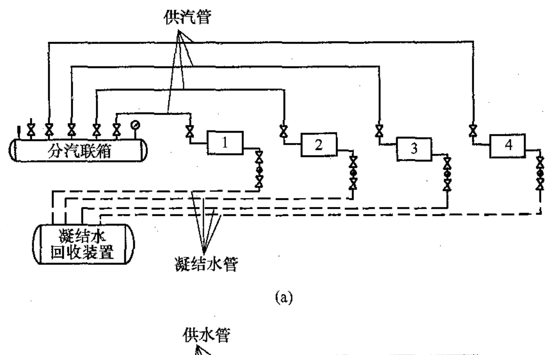
（1）主厂房供暖设备应以散热器为主，暖风机为辅。冬季供暖室外计算温度不高于-20℃的地区，经常开启且无门斗或外室的主厂房大门宜设置热风幕。主厂房中散热器应分层饱和布置，其余负荷由暖风机负担并布置在主厂房底层。由于散热器供暖和热风供暖系统负担的负荷悬殊比较大，而且热风幕、暖风机不一定连续运行，所以两个系统的管道应分开。

（2）锅炉房、汽机房供暖系统的主干管分别从分汽联箱或分水器接出，应形成各自独立的环路，各分支管应装设调节阀，以便控制和调节各环路。

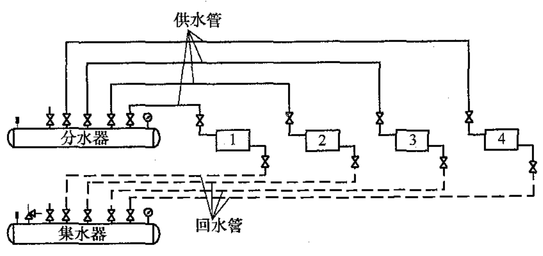
（3）考虑到单机、单炉运行情况，每台机、炉的供暖系统应分开，可形成各自独立的系统。

（4）两台或多台机组同时建设时，可以考虑汽机房和锅炉房的供暖系统各自独立，但需要考虑系统运行的过渡措施。

（5）主厂房蒸汽供暖系统的凝结水经除铁器处理后，由凝结水回收装置回到热机的除氧器或凝汽器中。主厂房热水供暖系统的回水应分别回到集水器，然后从集水器总管接到供暖加热站的循环水泵入口。主厂房供暖系统示意如图2-3所示。



(a)



(b)

图2-3 主厂房供暖系统示意图
（a）蒸汽供暖系统；（b）热水供暖系统
1—汽机房散热器；2—汽机房暖风机及热风幕；
3—锅炉房散热器；4—锅炉房暖风机及热风幕

（二）主厂房供暖设备选择

1. 散热器

在主厂房供暖上使用的散热器有光排管散热器、钢制散热器、辐射板等。选择散热器时，应从如下几个方面考虑：耐高温高压、不容易积尘、散热量大、外表美观、安装方便、金属耗量小等。

（1）光排管散热器。光排管散热器的优点是耐高温高压、不容易积尘；缺点是散热面积小、金属耗量大，主厂房一般不使用。鉴于其易于清扫的特性，在运煤建筑中应用较多。光排管散热器主要性能参数见表2-3，每米散热量见表2-4，外形尺寸如图2-4和表2-5所示。

表2-3　光排管散热器主要性能参数

型号	每米散热面积（m^2/m）	每米水容量（L/m）	每米质量（kg/m）	传热系数［W/（m^2·℃）］		工作压力（MPa）
				热水	蒸汽	
$\phi76\times3.5$	0.239	3.85	6.26	12.8	15	1.2
$\phi89\times4$	0.28	5.28	8.38	12.8	15	1.2
$\phi108\times4$	0.339	7.85	10.26	12.8	15	1.2
$\phi133\times4.5$	0.417	12.07	14.26	12.2	15	1.2

表2-4　光排管散热器散热量　（W/m）

室内温度（℃）	蒸汽				热水			
	$\phi76\times3.5$	$\phi89\times4$	$\phi108\times4$	$\phi133\times4.5$	$\phi76\times3.5$	$\phi89\times4$	$\phi108\times4$	$\phi133\times4.5$
	0.1MPa				80/60℃			
5	341	399	483	594	199	233	282	330
12	316	370	447	550	177	208	252	295
16	301	353	427	525	165	194	234	275
18	294	334	417	513	159	186	226	265
	0.2MPa				95/70℃			
5	412	483	650	719	238	278	336	394
12	387	454	615	675	216	253	306	359
16	373	437	595	651	203	238	289	338
18	366	428	585	638	197	231	280	328
	0.3MPa				110/70℃			
5	459	538	650	800	260	305	369	432
12	434	508	615	757	239	280	338	397
16	419	491	595	732	226	265	321	377
18	412	483	585	719	220	258	312	366
	0.4MPa				130/70℃			
5	494	580	702	863	290	340	412	483
12	470	550	666	819	267	315	382	448
16	455	533	646	794	257	301	365	427
18	448	525	636	782	251	394	356	417

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

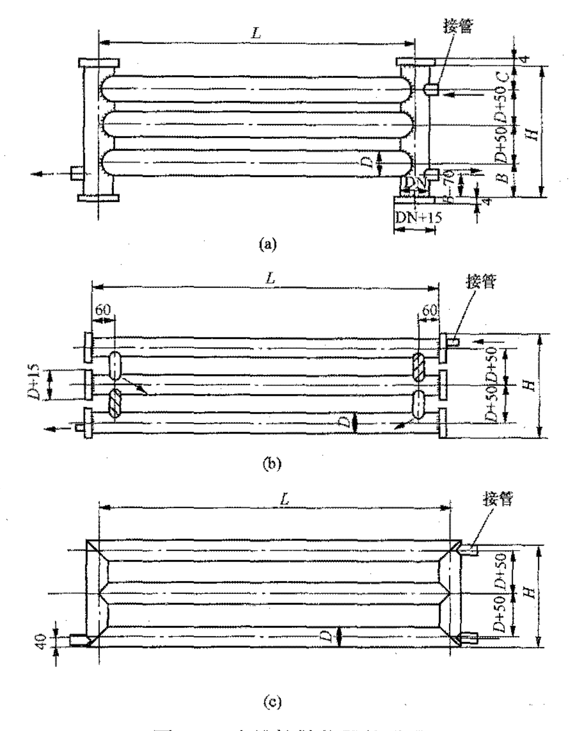


图 2-4　光排管散热器外形图

（a）A 型光排管散热器；（b）B 型光排管散热器；

（c）C 型光排管散热器

L—光排管散热器长度；D—排管直径；H—光排管散热器高度

表 2-5　A、B、C 型光排管散热器外形尺寸

管径（mm）	ϕ76×3.5		ϕ89×4		ϕ108×4		ϕ133×4.5	
A 型								
管排数	三排	四排	三排	四排	三排	四排	三排	四排
B（mm）	120	120	130	130	140	140	150	150
C（mm）	80	80	90	90	100	100	110	110
H（mm）	452	576	496	673	556	714	626	809
B、C 型								
H（mm）	378	454	367	596	474	562	499	682

（2）钢制散热器。钢制散热器有闭式钢串片对流散热器、板型散热器、钢制柱型散热器、扁管型散热器。其中钢制柱型散热器，采用 2～2.5mm 厚冷轧钢板冲压焊接成型，每片有几个中空立柱，这种散热器不仅能耐高温高压，而且散热面积大、金属耗量少、不容易积尘、形状美观，可以广泛使用在主厂房供暖中。钢制柱型散热器主要性能参数及散热量可参考表 2-6 和表 2-7，工程设计中应以实际选用的散热器性能参数为依据。

表 2-6　QFGZ 钢制柱型散热器主要性能

型号	长度（mm）	宽度（mm）	每片散热面积（m^2/片）	每片水容量（L/片）	每片质量（kg/片）	工作压力（MPa）		散热量（W/片）
						热水	蒸汽	
三柱 304	46	110	0.124	0.92	1.94	1.6	1.0	$0.3656\Delta t^{1.281}$
三柱 306	46	110	0.175	1.1	2.66	1.6	1.0	$0.5107\Delta t^{1.285}$
四柱 404	46	152	0.166	1.28	2.62	1.6	1.0	$0.5327\Delta t^{1.254}$
四柱 406	46	152	0.235	1.59	3.56	1.6	1.0	$0.7048\Delta t^{1.263}$
六柱 604	43	215	0.227	1.76	3.47	1.6	1.0	$0.628\Delta t^{1.287}$
六柱 606	43	215	0.321	2.12	4.83	1.6	1.0	$0.825\Delta t^{1.295}$

注　1. Δt 为散热器热媒与室内空气的平均温差，℃。

2. 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

表 2-7　QFGZ 钢制柱型散热器散热量（热水）　（W/片）

室内温度（℃）	三柱 304	三柱 306	四柱 404	四柱 406	六柱 604	六柱 606	三柱 304	三柱 306	四柱 404	四柱 406	六柱 604	六柱 606
	80/60℃						95/70℃					
5	76.8	109.1	100	132	146	151	96.2	136.7	125	165	182	189
12	66.4	94.2	87	114	126	130	85.2	121.1	111	146	161	167
16	60.6	86.0	79	104	115	118	79.1	112.3	103	136	150	155
18	57.7	81.9	76	99	109	113	76.0	108.0	99	130	144	149

续表

室内温度（℃）	三柱304	三柱306	四柱404	四柱406	六柱604	六柱606	三柱304	三柱306	四柱404	四柱406	六柱604	六柱606
	110/70℃						130/70℃					
5	108.3	154.0	140	184.8	206	213	124.9	177.6	161	212	237	246
12	97.0	137.9	126	166	184	191	113.2	161.0	146	193	215	223
16	90.7	128.9	118	155	172	178	106.7	151.7	138	182	203	210
18	87.5	124.4	114	150	166	172	103.4	147.0	134	177	196	203

注 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

（3）辐射板。使用在主厂房和运煤系统供暖的辐射板属于中温式，辐射板表面温度为 80～200℃，热水温度不宜低于 110℃；热媒为蒸汽时，蒸汽压力宜为 0.2MPa≤p≤0.8MPa。中温辐射板可采用块状和带状两种，前者长度为 1000～2000mm，而后者用几张钢板组装而成，长度不受限制。

由于辐射板的散热量与板表面温度、加热管的管径和间距、加热管与钢板的接触情况、钢板的厚度、辐射板附近空气的流速和温度、辐射板的安装位置、表面油漆的种类、辐射板背面的保温情况等诸多因素有关，计算相当复杂，所以只能通过实验求得其散热量。

主厂房辐射供暖设计要点：

1）采取有效措施，使钢板与排管能紧密接触。

2）为了提高辐射板表面黑度，辐射板表面宜刷无光漆。

3）为了提高散热量，水平安装的辐射板四周不宜加折边。

4）为了降低辐射板背面散热量，应做好辐射板背面的保温。

5）热水温度一般不宜低于 110℃，蒸汽压力不宜低于 0.2MPa。

6）辐射板供暖系统宜采用同程式，管道应采用焊接或法兰连接；辐射板支管上不宜装设阀门，接向辐射板的支管应考虑管道伸缩。

辐射板的安装方式有水平安装、倾斜安装和垂直安装三种。水平安装时热量向下辐射；倾斜安装时，辐射板可以在墙上或柱间布置，热量倾斜向下方辐射；垂直安装时，单面板可以垂直安装在墙上，双面板可以垂直安装在柱间向两面散热。辐射板多布置在沿着外墙及冷风渗透较多的大门附近。对于主厂房，可在沿外墙的通道上方的柱上布置，并多布置在大门处。辐射板的安装高度见表 2-8。辐射板安装方式见国家建筑标准设计图集 05K405《新型散热器选用与安装》。

表 2-8　　辐射板安装高度　　（m）

安装方式		热媒平均温度（℃）						
		110	120	130	140	150	160	170
水平安装		3.2	3.4	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8
倾斜安装（与水平面夹角）	30°	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
	45°	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4
	60°	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1
垂直安装		2.3	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	2.9

2. 暖风机

在主厂房供暖装置中，暖风机是很重要的散热设备，它具有散热量大、调节方便、布置和安装容易等优点，已经被广泛应用在火力发电厂主厂房供暖系统中。

（1）暖风机台数确定。暖风机台数计算式为

$$n=\frac{Q}{Q_d\eta} \tag{2-6}$$

式中 Q——暖风机负担的供暖热负荷，W；

Q_d——单台暖风机的实际散热量，W；

η——有效散热系数，热媒为热水时 η=0.8，热媒为蒸汽时 η=0.7～0.8。

暖风机标准工况进口空气温度为 15℃，当进口温度与标准参数 15℃不同时，应按式（2-7）换算，即

$$\frac{Q_d}{Q_0}=\frac{t_{av}-t_n}{t_{av}-15} \tag{2-7}$$

式中 Q_0——进口温度 15℃时的散热量，W；

t_{av}——热媒平均温度，℃；

t_n——设计条件下的进风温度，℃。

（2）主厂房中暖风机应用种类和性能。火力发电厂主厂房供暖宜采用小型挂式暖风机，暖风机的加热盘管宜采用传热系数高、耐高温高压、风阻低的翅片管簇，整机散热量大，宜选用低噪声风机。小型挂式暖风机分为蒸汽型和热水型，适用于蒸汽热媒和热水热媒。图 2-5 所示为挂式暖风机外形图。表 2-9 和表 2-10 分别为 Q 型蒸汽暖风机和 GS 型热水暖风机的性能参数。

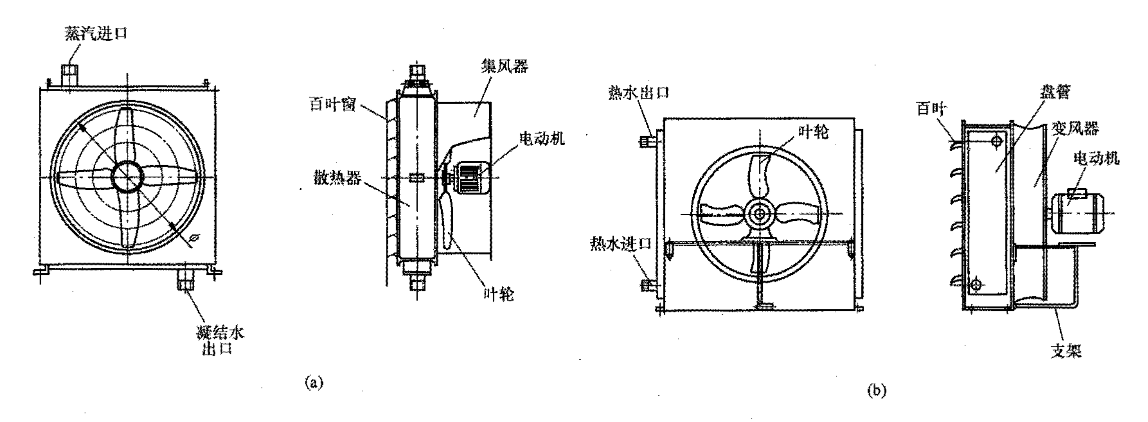


图 2-5　暖风机外形图

（a）Q 型蒸汽暖风机；（b）GS 型热水暖风机

表 2-9　　Q 型蒸汽暖风机性能参数

型号	蒸汽压力（MPa）	加热量（kW）	风量（kg/h）	进风温度（℃）	出风温度（℃）	出风速度（m/s）	电动机功率（W）	噪声（dB）	质量（kg）
4Q	0.1	24.31	2140	15	54.9	2.85	120	80.5	68
	0.2	27.27			60				
	0.3	29.77			63.8				
	0.4	31.87			66.8				
5Q	0.1	40.82	4300	15	54.9	3.0	370	82.5	109
	0.2	44.43			60				
	0.3	48.50			63.8				
	0.4	51.40			67				
7Q	0.1	62.34	7460	15	51.7	3.24	750	82.2	194
	0.2	70.36			56.4				
	0.3	76.18			60				
	0.4	88.04			62.7				
8Q	0.1	107.58	10400	15	56.3	3.1	1100	85.5	262
	0.2	128.40			61.5				
	0.3	131.42			65.5				
	0.4	139.56			68.6				

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

表 2-10　　GS 型热水暖风机性能参数

型号	热水温度（℃）				出风速度（m/s）	风量（kg/h）	电动机功率（W）	噪声（dB）	质量（kg）
	90		110						
	进风温度（℃）								
	10	15	10	15					
4GS	加热量（kW）				2.3	1500	120	80.5	82
	16.86	15.70							
	出风温度（℃）								
	47.5	50.0							

续表

型号	热水温度（℃）				出风速度（m/s）	风量（kg/h）	电动机功率（W）	噪声（dB）	质量（kg）
	90		110						
	进风温度（℃）								
	10	15	10	15					
4GS	水量（kg/h）				2.3	1500	120	80.5	82
	920	920							
	流速（m/s）								
	0.178	0.178							
	回水温度（℃）								
	74.3	75.3							
5GS	加热量（kW）				2.3	3180	370	82.5	139
	32.56	30.47	40.71	38.61					
	出风温度（℃）								
	43.7	46.5	52.2	55					
	水量（kg/h）								
	1100	1100	1100	1100					
	流速（m/s）								
	0.17	0.17	0.17	0.17					
	回水温度（℃）								
	64.5	66.2	78.2	79.8					
7GS	加热量（kW）				3.0	6600	750	82.3	229
	56.99	57.22	62.22	59.08					
	出风温度（℃）								
	45.8	44.4	41.3	44.9					
	水量（kg/h）								
	1520	1520	995	995					
	流速（m/s）								
	0.178	0.178	0.118	0.118					
	回水温度（℃）								
	57.7	58.7	56.3	59					
8GS	加热量（kW）				2.6	8500	1100	85.5	310
	80.25	74.9	92.11	87.46					
	出风温度（℃）								
	41.6	43.8	46.6	49.9					
	水量（kg/h）								
	2000	2000	1610	1610					
	流速（m/s）								
	0.182	0.182	0.147	0.147					
	回水温度（℃）								
	55.2	57.8	60.7	63.2					

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

（3）暖风机供暖系统设计要点。

1）选择暖风机时，对于暖风机散热量应附加30%。

2）暖风机送风温度不宜低于 35℃，也不应高于55℃。

3）暖风机应尽量布置在汽机房底层和锅炉房底层；同时，暖风机布置宜使暖风机的射流互相衔接，使供暖空间形成一个总的空气环流。

4）暖风机一般安装在外墙柱子上，当暖风机出口风速小于或等于 5m/s 时，安装高度为 2.5～3.5m。

5）暖风机接口管道采用焊接或法兰连接，不容易漏水漏汽，不宜采用丝扣连接。

6）蒸汽型暖风机入口设截止阀，出口设疏水装置；热水型暖风机出入口设置闸阀。

3. 热风幕

（1）热风幕设计原则。位于严寒地区、寒冷地区的公共建筑和工业建筑，对经常开启的外门，且不设门斗和前室时，宜设置热风幕；对于公共建筑和工业建筑，当生产工艺要求不允许降低室内温度时或经技术经济比较合理时，宜设置热风幕。

火力发电厂主厂房的特点是大门尺寸较大，无法设置门斗；大门往往每班开启时间都超过 40min，而且主厂房室内温度不允许降低到 5℃以下。因此无论在严寒地区还是寒冷地区，为了减少因主厂房大门开启而产生的冷风侵入附加耗热量，主厂房大门应设置热风幕。

火力发电厂主厂房大门一般采用顶吹式或侧吹式热风幕。热风幕可根据大门结构、尺寸以及安装条件等选择合适的形式。

（2）热风幕设计要点。

1）热风幕的送风温度，对主厂房的通道大门，不宜高于 50℃；对高大的检修大门，不应高于 70℃。

2）热风幕的条缝和孔口处的送风速度，对一般通道大门不宜大于 8m/s；对高大的检修大门，不应高于25m/s。

3）侧吹式热风幕的射出空气角度α取 45°为宜；空气幕喷嘴宽度可取 80～100mm，喷嘴长度可取喷嘴宽度的 2～3 倍；喷嘴应靠近大门，如不能靠近时，应在门框与喷嘴之间设置挡板，以消除其间的缝隙。

4）设置热风幕的主厂房，外门开关装置可与热风幕的通风机联锁。

（3）主厂房中热风幕应用种类及性能参数。火力发电厂主厂房使用的热风幕按热媒种类可分为蒸汽式和热水式，按安装形式可分为顶吹式和侧吹式，按采用风机形式分为离心式和轴流式。顶吹离心式蒸汽（热水）热风幕构造如图 2-6 所示，性能参数列于表 2-11、表 2-12。侧吹蒸汽（热水）热风幕构造如图 2-7 所示，性能参数列于表 2-13～表 2-16。

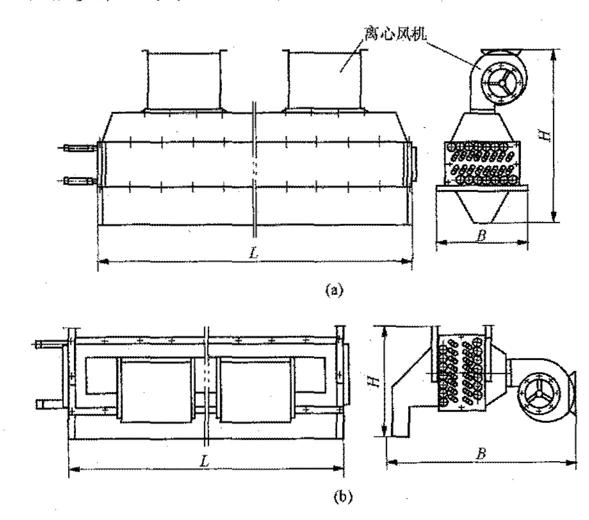


图 2-6 顶吹离心式蒸汽（热水）热风幕构造图
（a）立式；（b）卧式

表 2-11 离心式蒸汽热风幕性能参数

型号	外形尺寸（mm）（$L\times B\times H$）	风量（m³/h）	风速（m/s）	风机参数			盘管排数/根数	蒸汽流量（kg/h）	蒸汽压力（MPa）	供热量（kW）	空气温升（℃）	噪声（dB）
				风压（Pa）	电压（V）	功率（kW）						
RM-2010L	1060×460×940	1500	8	300	200/380	1×0.4	3/20	55	>0.2	30	>42	<63
RM-2012L	1260×460×940	3000	8	300	220/380	2×0.2	3/20	69	>0.2	42	>42	<63
RM-2015L	1560×460×940	3000	8	300	220/380	2×0.2	3/20	105	>0.2	62	>42	<63
RM-2510L	1060×500×1000	2600	10	300	380	1×0.4	3/20	60	>0.2	35	>42	<63
RM-2512L	1260×500×1000	4000	10	300	380	2×0.37	3/20	92	>0.2	50	>42	<66
RM-2515L	1560×500×1000	5200	10	300	380	2×0.4	3/20	120	>0.2	70	>42	<69
RM-2518L	1860×500×1000	7800	12	300	380	3×0.4	3/20	180	>0.2	108	>42	<69
RM-2520L	2060×500×1000	8400	12	340	380	3×0.4	3/20	195	>0.2	116	>42	<72

续表

型号	外形尺寸（mm）（$L\times B\times H$）	风量（m^3/h）	风速（m/s）	风机参数			盘管排数/根数	蒸汽流量（kg/h）	蒸汽压力（MPa）	供热量（kW）	空气温升（℃）	噪声（dB）
				风压（Pa）	电压（V）	功率（kW）						
RM-3015L	1600×650×1100	6000	12	300	380	2×0.7	3/20	115	＞0.2	69	＞42	＜69
RM-3018L	1900×650×1100	9000	13	540	380	3×0.7	3/20	184	＞0.2	110	＞42	＜72
RM-3020L	2100×650×1100	10500	13	540	380	3×0.7	3/20	242	＞0.2	145	＞42	＜72
RM-3022L	2300×650×1100	12000	13	420	380	4×0.7	3/20	276	＞0.2	165	＞42	＜72

注 1. 热风幕吸风温度为 15℃。
2. 表中 200/380、220/380 表示两个电压均可。
3. 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

表 2-12　离心式热水热风幕性能参数

型号	外形尺寸（mm）（$L\times B\times H$）	风量（m^3/h）	风速（m/s）	风机参数			盘管排数/根数	入水温度（℃）	流量（t/h）	供热量（kW）	空气温升（℃）	噪声（dB）
				风压（Pa）	电压（V）	功率（kW）						
RM-2010L-S	1060×460×980	1500	8	300	200/300	1×0.4	4/26	＞70	1.8	30	＞38	＜63
RM-2012L-S	1260×460×980	3000	8	300	220/380	2×0.2	4/26	＞70	2.2	38	＞38	＜63
RM-2015L-S	1560×460×980	3000	8	300	330/380	2×0.2	4/26	＞70	3.2	56	＞38	＜63
RM-2510L-S	1060×500×1000	2600	10	300	380	1×0.4	4/26	＞70	2	33	＞38	＜63
RM-2512L-S	1260×500×1000	4000	10	300	380	2×0.37	4/26	＞70	2.9	50	＞38	＜66
RM-2515L-S	1560×500×1000	5200	10	300	380	2×0.4	4/26	＞70	3.8	60	＞38	＜69
RM-2518L-S	1860×500×1000	7800	12	300	380	3×0.4	4/26	＞70	5.4	93	＞38	＜69
RM-2520L-S	2060×500×1000	8400	12	300	380	3×0.4	4/26	＞70	5.8	100	＞38	＜72
RM-3015L-S	1600×650×1200	6000	13	300	380	2×0.7	4/26	＞70	3.6	63	＞38	＜69
RM-3018L-S	1900×650×1200	9000	13	540	380	3×0.7	4/26	＞70	5.8	100	＞38	＜72
RM-3020L-S	2100×650×1200	10500	13	540	380	3×0.7	4/26	＞70	7.6	132	＞38	＜72
RM-3022L-S	2300×650×1200	12000	13	420	380	4×0.7	4/26	＞70	8.6	151	＞38	＜72

注 1. 热风幕吸风温度为 15℃。
2. 表中 200/300、220/380、330/380 表示两个电压均可。
3. 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

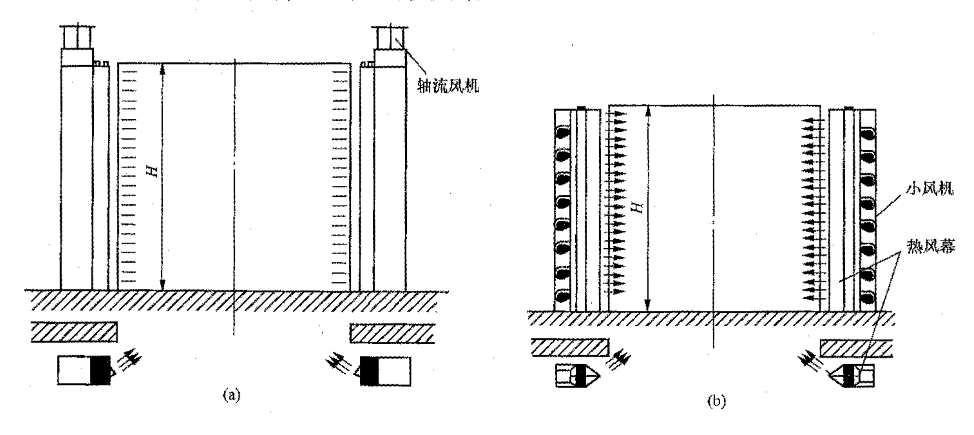


图 2-7　侧吹蒸汽（热水）热风幕构造图（一）
（a）侧吹轴流式热风幕；（b）侧吹离心式小风机热风幕

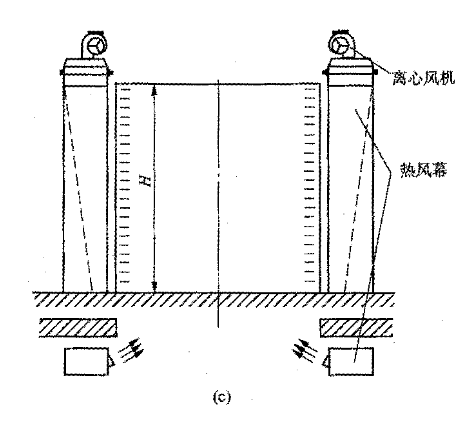


图 2-7　侧吹蒸汽（热水）热风幕构造图（二）
（c）侧吹离心式大风机热风幕

表 2-13　　**侧吹蒸汽轴流式热风幕性能参数**

<table>
<tr><th rowspan="2">型号</th><th rowspan="2">风量（m³/h）</th><th rowspan="2">热量（kW）</th><th rowspan="2">出口风速（m/s）</th><th rowspan="2">出口风温（℃）</th><th rowspan="2">凝结水量（kg/h）</th><th colspan="3">风机参数</th><th rowspan="2">噪声（dB）</th></tr>
<tr><th>功率（kW）</th><th>转速（r/min）</th><th>电压（V）</th></tr>
<tr><td>RM-6030Z-C-12</td><td>12300</td><td>149</td><td>11</td><td>53</td><td>239</td><td rowspan="3">1.1</td><td rowspan="18">1450</td><td rowspan="18">380</td><td>72</td></tr>
<tr><td>RM-6030Z-C-15</td><td>14600</td><td>170</td><td>13</td><td>32</td><td>272</td><td>73</td></tr>
<tr><td>RM-6033Z-C-14</td><td>13500</td><td>168</td><td>11</td><td>54</td><td>269</td><td>72</td></tr>
<tr><td>RM-6033Z-C-16</td><td>16000</td><td>189</td><td>13</td><td>52</td><td>302</td><td rowspan="4">1.5</td><td>74</td></tr>
<tr><td>RM-6036Z-C-15</td><td>14700</td><td>185</td><td>11</td><td>55</td><td>269</td><td>73</td></tr>
<tr><td>RM-6036Z-C-18</td><td>17500</td><td>209</td><td>13</td><td>53</td><td>335</td><td>75</td></tr>
<tr><td>RM-6039Z-C-16</td><td>16000</td><td>204</td><td>11</td><td>55</td><td>326</td><td>73</td></tr>
<tr><td>RM-6039Z-C-19</td><td>19000</td><td>224</td><td>13</td><td>53</td><td>359</td><td rowspan="4">2.2</td><td>75</td></tr>
<tr><td>RM-6042Z-C-17</td><td>17200</td><td>217</td><td>11</td><td>55</td><td>347</td><td>75</td></tr>
<tr><td>RM-6042Z-C-21</td><td>20500</td><td>249</td><td>13</td><td>53</td><td>398</td><td>76</td></tr>
<tr><td>RM-6545Z-C-18</td><td>18400</td><td>236</td><td>11</td><td>55</td><td>371</td><td>76</td></tr>
<tr><td>RM-6545Z-C-22</td><td>21900</td><td>262</td><td>13</td><td>53</td><td>419</td><td>3</td><td>77</td></tr>
<tr><td>RM-6548Z-C-20</td><td>19700</td><td>252</td><td>11</td><td>55</td><td>402</td><td>2.2</td><td>76</td></tr>
<tr><td>RM-6548Z-C-23</td><td>23400</td><td>285</td><td>13</td><td>53</td><td>456</td><td rowspan="5">3</td><td>77</td></tr>
<tr><td>RM-7051Z-C-21</td><td>20900</td><td>266</td><td>11</td><td>55</td><td>424</td><td>76</td></tr>
<tr><td>RM-7051Z-C-25</td><td>24800</td><td>299</td><td>13</td><td>53</td><td>471</td><td>78</td></tr>
<tr><td>RM-7056Z-C-23</td><td>23000</td><td>295</td><td>11</td><td>55</td><td>471</td><td>77</td></tr>
<tr><td>RM-7056Z-C-27</td><td>27300</td><td>328</td><td>13</td><td>53</td><td>524</td><td>78</td></tr>
</table>

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

表 2-14　　**侧吹蒸汽离心式热风幕性能参数**

<table>
<tr><th rowspan="2">型号</th><th rowspan="2">风量（m³/h）</th><th rowspan="2">热量（kW）</th><th rowspan="2">出口风速（m/s）</th><th rowspan="2">出口风温（℃）</th><th rowspan="2">凝结水量（kg/h）</th><th colspan="3">结构参数</th><th colspan="3">风机参数</th><th rowspan="2">噪声（dB）</th></tr>
<tr><th>H（m）</th><th>蒸汽接管直径 D₁（mm）</th><th>凝结水接管直径 D₂（mm）</th><th>功率（kW）</th><th>转速（r/min）</th><th>电压（V）</th></tr>
<tr><td>RM-2530L-C-14</td><td>14000</td><td>185</td><td>11</td><td>53</td><td>312</td><td>3</td><td>DN80</td><td>DN50</td><td>5×0.7</td><td>1450</td><td>380</td><td>72</td></tr>
<tr><td>RM-2533L-C-14</td><td>14000</td><td>194</td><td>11</td><td>54</td><td>320</td><td>3.3</td><td>DN80</td><td>DN50</td><td>5×0.7</td><td>1450</td><td>380</td><td>72</td></tr>
<tr><td>RM-2536L-C-17</td><td>16800</td><td>232</td><td>13</td><td>53</td><td>336</td><td>3.6</td><td>DN80</td><td>DN50</td><td>6×0.7</td><td>1450</td><td>380</td><td>75</td></tr>
<tr><td>RM-2539L-C-19</td><td>19600</td><td>265</td><td>13</td><td>53</td><td>440</td><td>3.9</td><td>DN80</td><td>DN50</td><td>7×0.7</td><td>1450</td><td>380</td><td>75</td></tr>
</table>

续表

型号	风量（m³/h）	热量（kW）	出口风速（m/s）	出口风温（℃）	凝结水量（kg/h）	结构参数			风机参数			噪声（dB）
						H（m）	蒸汽接管直径 D_1（mm）	凝结水接管直径 D_2（mm）	功率（kW）	转速（r/min）	电压（V）	
RM-2542L-C-19	19600	270	13	53	450	4.2	DN80	DN50	7×0.7	1450	380	75
RM-2545L-C-19	19600	275	13	53	458	4.5	DN80	DN50	7×0.7	1450	380	75
RM-2548L-C-23	22400	300	13	53	465	4.8	DN80	DN50	8×0.7	1450	380	75
RM-2551L-C-23	22400	310	13	53	471	5.1	DN80	DN50	8×0.7	1450	380	75
RM-2556L-C-23	25200	315	13	53	524	5.6	DN80	DN50	9×0.7	1450	380	75

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

表 2-15　　侧吹热水轴流式热风幕性能参数

型号	风量（m³/h）	热量（kW）	出口风温（℃）	出口风速（m/s）	水阻（Pa）	水量（kg/min）	风机参数			噪声（dB）
							功率（kW）	转速（r/min）	电压（V）	
RM-6030Z-C-S-12	12300	110	43	11	503	79	1.1	1450	380	72
RM-6030Z-C-S-15	14600	122	41	13	657	88				73
RM-6033Z-C-S-14	13500	113	43	11	570	81				72
RM-6033Z-C-S-16	16000	133	41	13	763	96	1.5			74
RM-6036Z-C-S-15	14700	135	43	11	800	978				73
RM-6036Z-C-S-18	17500	187	42	13	1020	110				75
RM-6039Z-C-S-16	16000	149	44	11	1000	107				73
RM-6039Z-C-S-19	19000	158	41	13	1120	114	2.2			75
RM-6042Z-C-S-17	17200	157	43	11	1150	113				73
RM-6042Z-C-S-21	20500	168	41	13	1290	121				75
RM-6545Z-C-S-18	18400	167	43	11	1390	124				75
RM-6545Z-C-S-22	21900	185	41	13	1590	133	3			76
RM-6548Z-C-S-20	19700	182	43	11	1580	131	2.2			76
RM-6548Z-C-S-23	23400	197	41	13	1820	141	3			77
RM-7051Z-C-S-21	20900	185	43	11	1660	133				76
RM-7051Z-C-S-25	24800	207	41	13	2140	148				77
RM-7056Z-C-S-23	23000	207	43	11	2140	148				78
RM-7056Z-C-S-27	27300	225	40	13	2510	162				77

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

表 2-16　　侧吹热水离心式热风幕性能参数

型号	风量（m³/h）	热量（kW）	出口风速（m/s）	出口风温（℃）	热水流量（kg/h）	结构参数			风机参数			噪声（dB）
						H（m）	进口接管直径 D_1（mm）	出口接管直径 D_2（mm）	功率（kW）	转速（r/min）	电压（V）	
RM-2530L-C-14	14000	185	11	53	7955	3	DN80	DN80	5×0.7	1450	380	72
RM-2533L-C-14	14000	194	11	54	8342	3.3	DN80	DN80	5×0.7	1450	380	72
RM-2536L-C-17	16800	232	13	53	9976	3.6	DN80	DN80	6×0.7	1450	380	75
RM-2539L-C-19	19600	265	13	53	10266	3.9	DN80	DN80	7×0.7	1450	380	75
RM-2542L-C-19	19600	270	13	53	10554	4.2	DN80	DN80	7×0.7	1450	380	75

续表

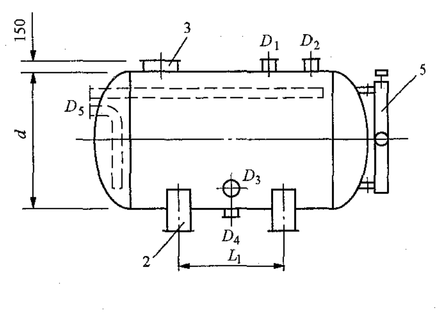
型号	风量（m^3/h）	热量（kW）	出口风速（m/s）	出口风温（℃）	热水流量（kg/h）	结构参数			风机参数			噪声（dB）
						H（m）	进口接管直径 D_1（mm）	出口接管直径 D_2（mm）	功率（kW）	转速（r/min）	电压（V）	
RM-2545L-C-19	19600	275	13	53	10750	4.5	DN80	DN80	7×0.7	1450	380	75
RM-2548L-C-23	22400	300	13	53	11217	4.8	DN80	DN80	8×0.7	1450	380	75
RM-2551L-C-23	22400	310	13	53	11591	5.1	DN80	DN80	8×0.7	1450	380	75

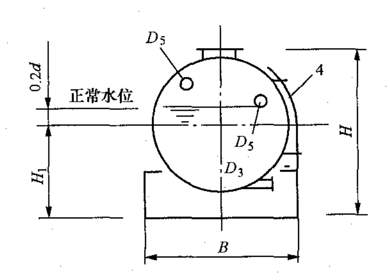
注 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

4. 凝结水回收装置

（1）凝结水箱。凝结水箱分为开式和闭式两种。开式凝结水箱适用于温度小于 100℃的凝结水回收，反之则可采用闭式凝结水箱。一般开式凝结水箱配有人孔、水位计、温度计、溢水管水封、泄水管、进水管、出水管、通气管、取样装置等附件。溢水管截面积应比进水管大 0.5～1 倍，通气管应接至室外排空。闭式凝结水箱配有安全阀、水封、溢流管、进出口水管、排汽管、排污管、人孔、高低水位监视装置、温度计等。

火力发电厂供暖蒸汽凝结水温度较高，容易产生二次蒸汽，在凝结水箱内形成一定的压力。闭式凝结水箱用安全水封控制水箱内压力，一般宜控制在 10～30kPa。闭式凝结水箱宜选用带封头筒形卧式凝结水箱。卧式筒形闭式凝结水箱外形尺寸见图 2-8、表 2-17，布置如图 2-9 所示。





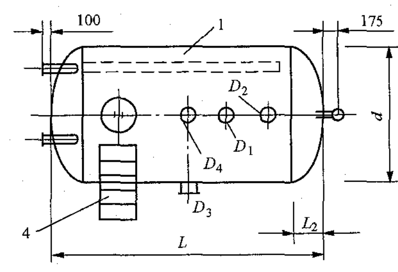


图 2-8 卧式筒形闭式凝结水箱外形图

1—箱体；2—支座；3—人孔；4—爬梯；5—液位控制器

表 2-17　　卧式筒形闭式凝结水箱尺寸表

容积 V（m^3）	d（mm）	L（mm）	B（mm）	H_1（mm）	H（mm）	L_1（mm）	L_2（mm）	管径（mm）					质量 m（kg）
								D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	
3	1600	2800	1500	1000	2000	1200	431	DN150	DN125	DN50	DN32	DN50	DN1400
6	2100	3200	2000	1200	2400	1400	533	DN200	DN150	DN65	DN40	DN65	DN1900
10	2400	3500	2200	1500	2900	1500	650	DN250	DN200	DN80	DN50	DN65	DN3100
15	3000	4000	2700	1800	3500	1600	802	DN300	DN200	DN80	DN50	DN65	DN4000
20	3000	4600	2700	1800	3500	1800	802	DN350	DN250	DN100	DN65	DN65	DN5000
25	3000	5300	2700	1800	3500	2300	802	DN400	DN250	DN100	DN65	DN65	DN6200

注 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

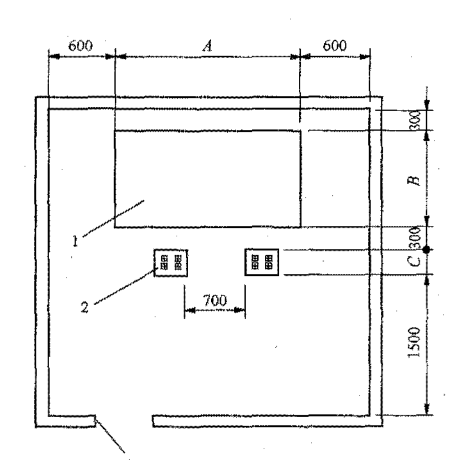


图 2-9　卧式筒形闭式凝结水箱布置图

1—凝结水箱；2—凝结水泵；A—凝结水箱长度；B—凝结水箱宽度；C—水泵基础宽

凝结水箱容积计算式为

$$V_n = \frac{1}{2} G_n \tag{2-8}$$

式中　V_n ——凝结水箱容积，m^3；

G_n ——凝结水最大小时回水量，m^3。

凝结水箱有效容积计算式为

$$V_j = 80\% V_n \tag{2-9}$$

式中　V_j——凝结水箱有效容积，m^3。

凝结水箱的放水管直径应大于 50mm；溢水管直径比凝结水泵入口管径大 1～2 号；钢板制凝结水箱内外表面应作防腐处理；一般情况下，凝结水箱应进行保温隔热，以减少热损失。

（2）凝结水闭式回收水泵装置。凝结水闭式回收水泵装置是将收集的凝结水加压输送至指定位置，且能够自动控制的水泵、管道和压力管道元件集成的密闭装置（以下简称凝结水泵装置）。

1）凝结水泵装置分类。凝结水泵装置按结构和工作原理分为电动型和气动型两类。

a. 电动型凝结水泵装置是配备电动机的水泵成套装置。一般采用上置专用消除汽蚀的集水罐、下置或侧置两台（或一台）电动机驱动的水泵及自控柜三部分组成的结构，由自控柜自动控制电动机驱动水泵运行，其原理如图 2-10 所示。

b. 气动型凝结水泵装置是利用蒸汽或压力气体作为动力介质的水泵成套装置。一般采用上置集水罐、下置或侧置一台或多台气动凝结水泵两大部分组成的结构，由泵体内凝结水的液位变化带动启闭件的开关动作，利用蒸汽或压力气体作为动力介质直接间歇压送进入泵体内的凝结水，其原理如图 2-11 所示。

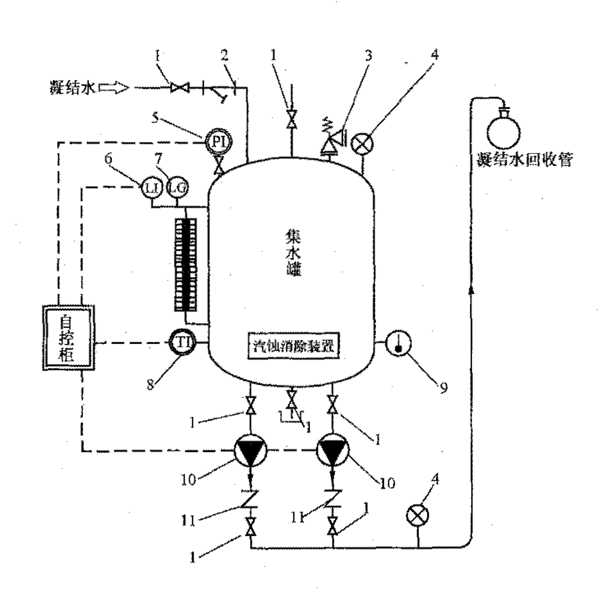


图 2-10　电动型凝结水泵装置原理图

1—切断阀；2—过滤器；3—安全阀；4—压力表；5—压力传感器；6—液位变送器；7—液位计；8—温度传感器；9—温度计；10—水泵；11—止回阀

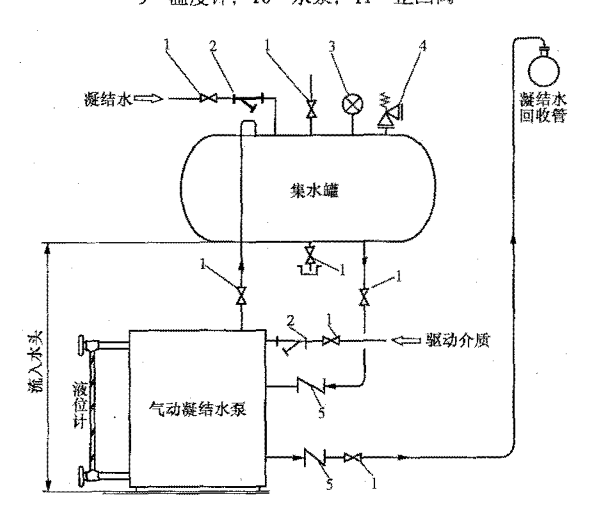


图 2-11　气动型凝结水泵装置原理图

1—切断阀；2—过滤器；3—压力表；4—安全阀；5—止回阀

2）凝结水回收泵装置选型。

a. 电动型凝结回收水泵装置主要是根据总有效扬程和凝结水量来选型。总有效扬程计算式为

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + p \tag{2-10}$$

式中　H ——总有效扬程，kPa；

H_1 ——泵至回收管的沿程阻力，kPa；

H_2 ——泵至回收管的垂直扬程，kPa；

H_3 ——附加水头，一般取 30～50kPa；

p ——回收管内压力，kPa。

凝结水量为凝结水泵回收装置所服务系统的总蒸

汽量。

电动型凝结水回收泵装置基本参数可参考表2-18。

表2-18 电动型凝结水回收泵装置基本参数

型号	额定回收能力（m^3/h）	出水管口公称直径（mm）	最高工作温度（℃）	最高工作压力（MPa）
DSB2L/W	2	DN32	165	0.6
DSB4L/W	4	DN40		
DSB6L/W	6	DN50		
DSB10L/W	10	DN65		
DSB15L/W	15	DN65		
DSB20L/W	20	DN65		
DSB30L/W	30	DN80		
DSB40L/W	40	DN100		
DSB55L/W	55	DN100		
DSB75L/W	75	DN125		
DSB100L/W	100	DN150		
DSB120L/W	125	DN150		
DSB150L/W	150	DN200		
DSB200L/W	200	DN250		

注 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

b. 气动型凝结水泵装置主要是根据总有效扬程、凝结水负荷及动力压力来选型。选型计算方法详见国家建筑标准设计图集05R407《蒸汽凝结水回收及疏水装置的选用与安装》。

气动型凝结水泵装置基本参数可参考表2-19。

表2-19 气动型凝结水回收泵装置基本参数

型号	最大流量*（m^3/h）	出水管口公称直径（mm）	最高工作温度（℃）	最高工作压力（MPa）	驱动介质压力（MPa）	驱动介质	流入水头（m）	背压0.1MPa时，蒸汽/空气消耗
QSB1.5-1	1.5	1**×DN25	185	1.05	0.03～1.05	蒸汽或其他无毒不凝气体	0.63	消耗蒸汽1.7kg/m^3凝结水或消耗标准状况下空气6m^3/m^3凝结水
QSB1.5-2	3.0	2**×DN25						
QSB7-1	7	1**×DN50					0.86	
QSB7-2	14	2**×DN50						
QSB7-3	21	3**×DN50						
QSB7-4	28	4**×DN50						
QSB7-5	35	5**×DN50						
QSB7-6	42	6**×DN50						
QSB30-1	30	1**×DN100					1.9	
QSB30-2	60	2**×DN100						
QSB30-3	90	3**×DN100						
QSB30-4	120	4**×DN100						
QSB50-1	50	1**×DN150						
QSB50-2	100	2**×DN150						
QSB50-3	150	3**×DN150						
QSB50-4	200	4**×DN150						

注 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

* 最大流量是指在凝结水温度为90℃、背压为0.1MPa、驱动介质为压力1.05MPa蒸汽下的流量，当背压升高或驱动介质不同或驱动介质压力降低时，凝结水流量也会相应变化。

** 表示出水管道的数量。

5. 高区供暖系统形式及高层直连设备

火力发电厂主厂房区域供暖系统中，位置较高的热用户是煤仓间、高位转运站及其相连栈桥，300MW级以上机组的煤仓间高度一般不低于42m，如果高区用户采用直接连接方式，考虑系统高度、循环水泵扬程、高温水的汽化压力及系统安全余量等因素，供暖系统的工作压力将使底层散热器的承压接近或超出其耐受极限。任何循环泵扬程过高、系统压力波动或散热器设备承压能力未达标等因素都可能导致底层散热器超压爆裂。供暖系统在这样的工况下运行，其运行

的可靠性对于保证电厂主工艺系统安全稳定运行是极为不利的。

GB 50019—2015 中规定，建筑物热水供暖系统高度超过 50m 时，宜竖向分区设置。目的是减小散热器及配件所承受的压力，保证系统安全运行，避免立管管径过大及垂直失调等现象。主厂房供暖热媒通常采用 110/70℃的供回水，汽化压力为 46kPa。因此当热水供暖系统最高点与最低点高差超过 40m 时，为保证供暖系统底部散热器运行压力不超过其承压能力，煤仓间、高位转运站等高区供暖系统宜与低区供暖系统分区设置。

供暖系统竖向分区时高低区共用一个热源。高区供暖系统有以下两种设计方案。

方案 1：低区供暖采用直接连接方式，高区供暖采用间接换热，低区和高区供暖介质被安全隔离开。高区换热后二次水的供水温度将降低 5～10℃，散热器数量会增加，同时需要增设一套水水换热机组，投资增高。

方案 2：采用高层直连方法。高层直连方法是热源系统仍按低区定压，高区与低区系统直接连接前，高区系统供水经水泵加压进入，回水经过减压接至低区系统。减压的目的是避免增压后高区压力比低区高，其回水并入低区管网时会影响低区的运行，甚至出现倒流的现象。当减压后的压力达到与低区回水压力相接近时，高区系统就能正常回水，同时也不会出现超压的问题。当系统停止运行时，高区回水系统关闭，避免压力传递到低区。高层直连技术核心点在于“减压”和“关断”。根据减压和关断的技术手段不同，市场上的高层直连设备大致可分为两类。

（1）带阻断器的高层直连供暖设备。该装置由增压泵、止回阀、驱动管、阻断器、排气阀及控制柜组成，增压泵出口管接高区的供水管，热水释放热量后，回水经过阻断器，在阻断器内释放高区回水的压力，与低区的回水压力相平衡，通过调整阻断器顶部调节器调节阻断器出口处的高区回水压力，使得高区回水压力与低区回水压力等级接近，这样高区回水就能以较低的压力参与低区管网的回水，而不会导致低区散热器超压。原理如图 2-12 所示。

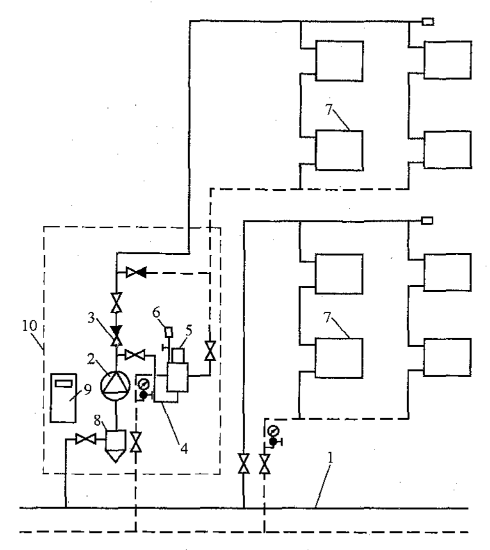


图 2-12 带阻断器的高层直连供暖设备原理图

1—低区管网；2—加压泵；3—止回阀；4—驱动管；5—阻断器；6—排气阀；7—散热器；8—除污器；9—控制箱；10—高层直连机组

增压泵的流量按高区的热负荷计算，与常规供暖设计一致。配套增压泵的扬程计算式为

$$H = p_i - p_w + p_n + p_a \tag{2-11}$$

式中 H——增压泵扬程，kPa；

p_i——增压泵至系统顶部的几何高度对应的静水压力，kPa；

p_w——热网供水在增压泵位置的动水压头，kPa；

p_n——高区室内系统阻力，kPa；

p_a——安全余量，取 30～50kPa。

（2）带减压阀组的高层直连供暖设备。减压装置由阻断器改为减压阀组，通过调整变频水泵的转速，达到出口压力恒定、流量恒定，通过数字式控制调节回水压力与低区压力相同且保持稳定。当增压泵停泵时，数字控制系统隔断回水管路，将高、低区分为两个不相通的独立系统。对于采用这种减压方式的高层直连供暖设备应与设备供货方确定关闭延迟和频繁重复动作的可靠性，避免增压泵停泵时，高区回水压力未作用在阀组上，而是传递给低区散热器引发超压。原理如图 2-13 所示。

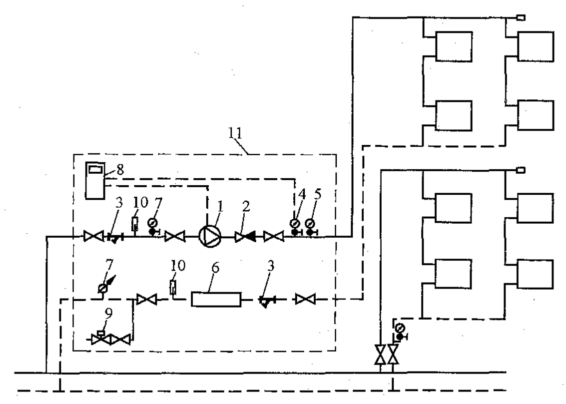


图 2-13 带减压阀组的高层直连供暖设备原理图

1—水泵；2—止回阀；3—过滤器；4—压力传感器；5—压力表；6—减压阀组；7—电触点压力表；8—控制柜；9—电磁阀；10—温度计；11—高层直连机组

主厂房供暖系统竖向分区是以采用补水泵定压方

式为前提的，补水泵定压是常用的供暖系统定压方式。目前，有个别火力发电厂工程在尝试采用旁通管定压方式，供、回水运行压力较低，可有效解决底层设备超压问题，不必分区。

6. 通用阀门

（1）阀门主要性能见表2-20。

表2-20 阀门主要性能

名称	型号	温度（℃）	压力（MPa）	公称直径（mm）	用途
闸阀	Z15T-10	120	1.0	DN15～DN65	用于蒸汽、热水系统的关断，不宜作为调节用
	Z44T-10	200	1.0	DN50～DN450	
	Z45Y-10	120	1.0	DN50～DN500	
	Z44H-1.6	450	1.6	DN200～DN400	
截止阀	J11W-10T	225	1.0	DN15～DN65	用于蒸汽、热水系统的关断，不宜作为调节用
	J41H-16	100	1.6	DN65～DN200	
	J41H-25Q	300	2.5	DN15～DN80	
	J41H-40	400	4.0	DN15～DN250	
蝶阀	D71X-1.0/1.6	120	1.0（1.6）	DN40～DN300	用于热水系统的关断，不能作为调节用
	D371X-1.0/1.6	120	1.0（1.6）	DN200～DN600	
	D771X-1.0	120	1.0	DN100～DN600	
球阀	Q11F-6T（16）	100	0.6（1.6）	DN15～DN50	用于热水系统的关断，不宜作为调节用
	Q41F-6C	200	0.6	DN15～DN100	
	Q41F-16	100	1.6	DN15～DN125	
	Q44F-16Q	150	1.6	DN32～DN150	
止回阀	H41T-16	200	1.6	DN20～DN200	用于蒸汽、热水垂直管道上
	H44T-10	200	1.0	DN50～DN600	用于蒸汽、热水水平直通管道上
	H76X-10/16	150	1.0（1.6）	DN40～DN600	用于热水水平直通管道上
疏水器	CS14AF-16Q CS14BF-16Q CS44F-16Q	200	1.6	DN15～DN50	可调恒温疏水器用于蒸汽系统
	CS11H-16Q	300	1.6	DN15～DN50	自由浮球式疏水器用于蒸汽系统
	CS41H-16Q	300	1.6	DN15～DN100	
	CS41H-40	300	4.0	DN15～DN50	
手动调节阀	T40H-4（1.0/1.6）	300	1.0 1.6 4.0	DN15～DN400	用于城市集中供热、循环水工程、热电厂管网和制冷空气调节等工程中。具有截止、截流和调节流量的作用
静态平衡阀	SPF45-16	−20～150	1.6	DN32～DN600	又称为手动平衡阀、数字锁定平衡阀、双位调节阀等，用于供暖、空气调节水系统。它通过改变阀芯与阀座的间隙（开度）来改变流经阀门的流动阻力以达到调节流量的目的，其作用对象是系统的阻力。当系统中压差发生变化时，不能够随系统变化而改变阻力系数，需重新进行手动调节
动态平衡阀	XTY47 自力式 压差控制阀	120	1.6	DN20～DN350	用于供暖、空气调节水系统。用压差作用来调节阀门的开度，利用阀芯的压降变化来弥补管路阻力的变化，从而使阀门在工况变化时能保持压差基本不变。自力式压差控制阀，在控制范围内自动阀塞为关闭状态，阀门两端压差超过预设定值时，阀塞自动打开并在感压膜作用下自动调节开度，保持阀门两端压差相对恒定

续表

名称	型号	温度（℃）	压力（MPa）	公称直径（mm）	用　　途
动态平衡阀	ZL-4M 自力式流量控制阀	120	1.6	DN20～DN350	用于供暖、空气调节水系统。根据系统工况（压差）变动而自动变化阻力系数，在一定的压差范围内，可以有效控制通过的流量保持一个常值，即当阀门前后的压差增大时，阀门自动关小，能够保持流量不增大；反之，当压差减小时，阀门自动开大，流量仍旧保持恒定

（2）疏水器设计要点。

1）疏水器选择。

a. 疏水器应按疏水器前、后的压差和凝结水量选择对应的规格型号。

b. 疏水器的设计排水量应大于理论排水量，即理论排水量乘以安全系数等于疏水器的设计排水量。安全系数（倍率）按疏水器安装的位置不同而定。

c. 疏水器后的压力约为疏水器前压力的 0.4～0.6，一般可取 0.5。

d. 应验算需疏水器提供的最大背压和疏水器正常动作所需的最小压力。

e. 暖风机空气加热器选用倒置桶型或浮球型疏水器，散热器选用恒温式或圆盘型疏水器。

f. 一只疏水器不能满足排水量要求时，可并联安装几只疏水器。

2）疏水器安装。疏水器应按箭头所示的方向水平安装在管路或设备的最低位置，并应有墩子或支架作为支撑。根据系统的具体情况，疏水器设有旁通管、冲洗管、止回阀、过滤器等。各部件的作用如下：①旁通管：主要用在初始运行时排放大量凝结水，但在运行中禁止使用。②冲洗管：用于放气、冲洗管路、检查疏水器的工作情况。③止回阀：防止凝结水管路窜汽后压力过高，超过用户供热系统的使用压力而影响系统运行。当凝结水系统利用疏水器背压回水，或凝结水管需要升高时，疏水器后应安装止回阀，疏水器疏水如排至大气中，止回阀应取消。④过滤器：为了防止凝结水中的杂质堵塞疏水器，一般应在疏水器前端装设过滤器。如疏水器本身带过滤器时，可以不另外设置。

（3）疏水器计算。

1）疏水器的理论排除凝结水量，应由生产厂家提供，但当缺乏必要的技术数据时，可按式（2-12）计算，即

$$G = 0.1k_{ex}d^2\sqrt{\Delta p} \tag{2-12}$$

式中　G——疏水器的排水量，按阀孔直径和压差而定，kg/h；

k_{ex}——排水系数，按阀孔直径和压差而定；

d——疏水器的排水阀孔直径，mm；

Δp——疏水器前后压差，kPa。

2）考虑实际运行时负荷和压力的变化，启动时低压大负荷、设备要求速热等情况，疏水器的排水设计能力应大于理论排水量。疏水器的设计排水量计算式为

$$G_{dis} = KG \tag{2-13}$$

式中　G_{dis}——疏水器的设计排水量，kg/h；

K——疏水器的选择倍率，按表 2-21 取值；

G——疏水器的理论排水量，kg/h。

表 2-21　　疏水器的选择倍率

系统	使用情况	K	系统	使用情况	K
供暖	$p \geqslant 100$kPa	2～3	淋浴	单独换热器	2
	$p < 100$kPa	4		多喷头	4
热风	$p \geqslant 200$kPa	2	生产	一般换热器	3
	$p < 200$kPa	3		大容量、长间歇、速加热	4

注　p 为供暖系统入口压力，kPa。

3）蒸汽供暖系统疏水器前的凝结水管不应向上抬升；疏水器后的凝结水管向上抬升的高度应经过计算确定，但不宜大于 5m。凝结水通过疏水器后的剩余压力可以把凝结水提升到一定高度。此提升高度计算式为

$$h = \frac{p_2 - p_3 - \Delta p}{0.001\rho g} \tag{2-14}$$

式中　h——疏水器后凝结水的提升高度，m；

p_2——疏水器后的压力，kPa；

p_3——回水箱内的压力，kPa；

Δp——疏水器后系统的总压力损失，kPa；

ρ——凝结水的密度，kg/m^3；

g——重力加速度，m/s^2。

对吊桶式疏水器，则

$$p_2 = (0.4 \sim 0.6)p_1 \tag{2-15}$$

对热力式疏水器，则

$$p_2 = 0.4p_1 \tag{2-16}$$

式中　p_1——疏水器前的压力，kPa。

对暖风机，则

$$p_1 = 0.95p \tag{2-17}$$

对散热器集中回水，则

$$p_1 = 0.7p \tag{2-18}$$

对末端泄水，则

$$p_1 = 0.7p \tag{2-19}$$

对分汽联箱和管道中途泄水，则

$$p_1=p \tag{2-20}$$

7. 减压阀

（1）减压阀种类。

1）活塞式减压阀：工作可靠、维修量小、减压范围大、占地小、使用范围广，常用于工作温度不大于300℃的蒸汽管路上，减压后的压力不小于 0.1MPa，减压前后的压差为 $0.15\text{MPa} \leqslant \Delta p < 0.45\text{MPa}$。

2）波纹式减压阀：调节范围大，常用于工作温度不大于200℃的蒸汽管路上，特别适用于减至低压蒸汽的供暖系统上，减压前后的压差为 $0.05\text{MPa} < \Delta p < 0.6\text{MPa}$。

3）薄膜式减压阀：工作可靠性差、维修量大、减压范围较小、体积大、占地面积大，仅用于压力较低的管路上。

4）供水减压阀：结构简单、体积小、性能稳定、调节方便，适用于高层建筑的冷、热水供水管网上。

（2）减压阀的流量计算。

1）当减压阀的减压比大于临界压力比时：

对于饱和蒸汽为

$$D=46.2\mu A\sqrt{\frac{p_1}{v_1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1.76}-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1.83}\right]} \tag{2-21}$$

对于过热蒸汽为

$$D=33.2\mu A\sqrt{\frac{p_1}{v_1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1.54}-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1.77}\right]}, \tag{2-22}$$

式中 D——流体流量，kg/h；

μ——减压阀孔的流量系数，一般取 0.45～0.6；

A——减压阀孔流通面积，cm^2；

p_1——阀孔前流体压力，kPa；

p_2——阀孔后流体压力，kPa；

v_1——阀孔前流体比体积，m^3/kg。

2）当减压阀的减压比小于或等于临界压力比时：

对于饱和蒸汽为

$$D=7.1\mu A\sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \tag{2-23}$$

对于过热蒸汽为

$$D=7.5\mu A\sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \tag{2-24}$$

式中 D——流体最大流量，kg/h。

（3）减压阀的安装。

1）减压阀的安装应注意方向性，安装时应注意不要把方向装反，并应使它垂直地安装在水平管道上，对于带有均压管的减压阀，均压管应连接在低压管道一侧。

2）安装于减压阀上的阀门一律采用法兰截止阀。

3）考虑启动和检修方便，安装减压阀时应设旁通管，旁通管垂直、水平安装均可，根据现场情况确定。

4）为便于减压阀的调整工作，减压阀两侧应分别安装高压、低压压力表。

5）为了防止减压后的压力超过允许的限度，阀后应装设安全阀。

8. 安全阀

（1）安全阀的种类。按结构分类，常用的安全阀有弹簧式、重锤式。

1）弹簧式安全阀。这种安全阀的阀瓣加载方式为弹簧加载。

2）重锤式安全阀。这种安全阀的阀瓣加载方式为利用重量直接加载，或利用重锤通过杠杆加载。重锤式安全阀的动作与性能不受高温的影响，多适用于压力和温度较高的系统，特别是锅炉和高温容器上。

（2）安全阀的选用。以通过安全阀的热量来选用，见表 2-22、表 2-23。

表 2-22 弹簧式安全阀通过的热量 （W）

公称直径（mm）	工作压力（kPa）					通路面积（mm^2）
	200	300	400	500	600	
DN15	20400	29000	37400	45200	53500	177
DN20	36000	51600	66300	81000	94700	314
DN25	54000	80000	103000	125000	148000	490
DN32	97300	137000	176000	217000	225000	805
DN40	144000	205000	264000	318000	379000	1255
DN50	226000	321000	409000	501000	600000	1960
DN70	324000	459000	593000	724000	851000	2820
DN80	580000	878000	1054000	1290000	1510000	5020
DN100	781000	1280000	1328000	2030000	2380000	7850

注 适用于压力和温度较低的系统（工作压力不大于600kPa，最高使用温度为 300℃）。

表 2-23 重锤式安全阀通过的热量 （W）

公称直径（mm）	工作压力（kPa）					通路面积（mm^2）
	200	300	400	500	600	
DN15	24500	34900	44900	54200	64000	177
DN20	43200	61900	79500	97700	113000	314
DN25	64900	96300	123000	150000	178000	490
DN32	117000	165000	212000	260000	307000	805
DN40	173000	245000	316000	382000	450000	1255
DN50	271000	385000	491000	600000	725000	1960
DN70	389000	551000	712000	869000	1020000	2820
DN80	696000	1050000	1265000	1500000	1810000	5020
DN100	937000	1530000	1590000	2400000	2860000	7850

注 一般多用于温度和压力较高的系统。

（3）安全阀选择的其他注意事项。

1）安全阀的选择应根据供暖系统压力、温度情况确定，设计时应注明使用压力范围。

2）安全阀的开启压力和排气管直径。当工作压力不大于 1.3MPa 时，其开启压力应等于工作压力加上 30kPa，安全阀通至室外的排汽管直径应不小于安全阀的内径，且不得小于 4cm。

3）各种安全阀的进出口公称直径均相同。

4）法兰连接的单弹簧或单杠杆安全阀的内径，一般比公称直径小一号，例如，DN100 的阀座内径为 80mm；双弹簧或双杠杆的则为小两号的 2 倍，例如 DN100 的阀座内径为 2×65mm。

5）安全阀的蒸汽进口接管直径应不小于其内径。

9. 分汽联箱、分（集）水器

（1）分汽联箱、分（集）水器的设计原则。

1）在供暖系统中有两个以上的分支环路时，考虑到各环路之间的压力平衡和调节的需要，宜设置分汽联箱、分（集）水器。

2）分汽联箱、分（集）水器的设计应符合 GB 150—2011《压力容器》（所有部分）中的设计标准。

（2）分汽联箱、分（集）水器的设计要点。

1）分汽联箱、分（集）水器筒体直径计算式为

$$D = 595\sqrt{\frac{G}{v\rho}} \qquad (2\text{-}25)$$

式中 D——分汽联箱、分（集）水器筒体直径，mm。

G——通过分汽联箱的总蒸汽流量或通过分（集）水器的总流量，t/h。

v——通过分汽联箱、分（集）水器的断面流速，对于蒸汽，取 8～12m/s，一般取 10m/s；对于水，取 0.1～1.0m/s。

ρ——蒸汽密度或工作温度下水的密度，kg/m^3。

分汽联箱直径可按式（2-25）计算，也可根据表 2-24 选择联箱尺寸。

表 2-24 分汽联箱筒体直径选用

工作状态蒸汽表压（MPa）	筒体直径 D（mm）											
	159	219	273	325	377	426	500	600	700	800	900	1000
0.05	标准状态蒸汽量 G（t/h）											
0.05	0.55	1.06	1.52	2.18	2.97	3.88	6.07	8.74	11.89	15.53	19.66	24.27
0.1	0.72	1.39	2.00	2.87	3.91	5.10	7.97	11.48	15.62	20.41	25.83	31.89
0.2	1.06	2.03	2.92	4.19	5.71	7.46	11.65	16.79	22.84	29.84	37.76	46.63
0.3	1.38	2.66	3.83	5.49	7.48	9.77	15.27	21.99	29.93	39.10	49.49	61.09
0.4	1.71	3.28	4.72	6.78	9.23	12.06	18.84	27.13	36.93	48.24	61.04	75.37
0.5	2.03	3.90	5.61	8.05	10.96	14.32	22.37	32.23	43.86	57.29	72.51	89.52
0.6	2.35	4.51	6.49	9.31	12.69	16.57	25.89	37.29	50.74	66.29	83.89	103.58
0.7	2.66	5.12	7.37	10.57	14.40	18.81	29.38	42.32	57.59	75.24	95.21	117.56
0.8	2.98	5.73	8.24	11.82	16.11	21.04	32.86	47.34	64.42	84.16	106.50	131.49
0.9	3.29	6.33	9.11	13.07	17.81	23.26	36.34	52.34	71.23	93.05	117.76	145.39
1.0	3.61	6.93	9.98	14.32	19.51	25.48	39.80	57.33	78.02	101.92	128.98	159.25
1.1	3.92	7.54	10.85	15.56	21.20	27.70	43.26	62.32	84.80	110.78	140.20	173.10
1.2	4.24	8.14	11.71	16.81	22.90	29.91	46.72	67.30	91.58	119.64	151.40	186.94
1.3	4.55	8.74	12.58	18.05	24.59	32.12	50.17	72.27	98.35	128.48	162.59	200.75
1.4	4.86	9.34	13.44	19.29	26.28	34.33	53.63	77.25	105.13	137.33	173.79	214.58
1.5	5.17	9.95	14.31	20.54	27.98	36.55	57.08	82.23	111.90	146.18	184.99	228.41
1.6	5.49	10.55	15.18	21.78	29.67	38.76	60.54	87.21	118.69	155.05	196.21	242.26

注 此表按筒体流速 v=10m/s 编制。

2）分（集）水器的筒身直径可按横断面流速 0.1、0.3、0.5、0.7、1.0m/s 计算。

3）分汽联箱、分（集）水器外表面应保温，保温厚度一般取 50mm。

4）分汽联箱、分（集）水器应牢固地安装在墙壁上或地面上。

5）布置分汽联箱、分（集）水器时应考虑分支管的安装、检修、操作空间的位置，布置如图 2-14 所示。

6）分汽联箱、分（集）水器的安装高度应考虑接管进出口阀门操作方便，分（集）水器的中心线宜距地面 1.2～1.5m。

7）分汽联箱、分（集）水器进出口管道法兰压力

等级应与所配阀门法兰一致。

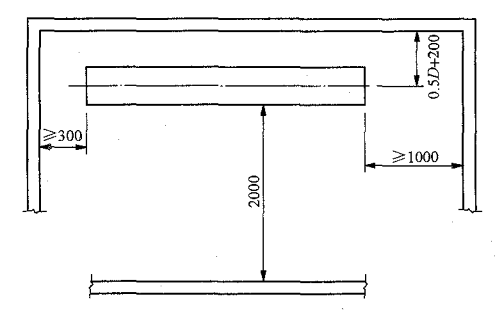


图 2-14 分流联箱、分（集）水器布置图

8）分汽联箱、分（集）水器一般应设置压力表、温度计、排水阀、安全阀及疏水器等。集水器各支管上应设置手动流量调节阀或平衡阀。总管上宜设有闸阀或蝶阀，底部应设有排污管及闸阀或球阀。

9）按经验估算确定，分汽联箱、分（集）水器筒体直径等于汽水连接总管直径的 1.5～3 倍。

10）分汽联箱和分（集）水器筒体长度确定。筒体长度 L 可根据接管数，由式（2-26）计算得到

$$L=130+L_1+L_2+\cdots+L_i+120+2h \qquad (2\text{-}26)$$

式中 L_1、L_2、L_3、…、L_i ——接管中心距，mm，按图 2-15、表 2-25 确定；

h ——两端椭圆封头的高度，mm。

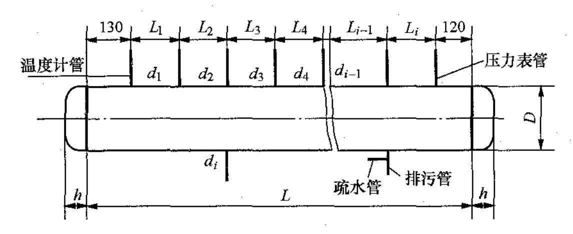


图 2-15 分汽联箱和分（集）水器接管中心距排布尺寸图

表 2-25 分汽联箱和分（集）水器接管中心距 （mm）

L_1	L_2	L_3	L_{i-1}	L_i
d_1+120	d_1+d_2+120	d_2+d_3+120	…	d_{i-1}+120

注 1. d_i 为接管的外径（含绝热层厚度），如接管无绝热层，则接管中心距必须大于 d_1+d_2+80（d_1、d_2 为两相邻接管的外径）。

2. 当筒体直径小于 500mm 时，排污管直径取 DN50；当筒体直径大于 500mm 时，排污管直径取 DN100。

11）分汽联箱、分（集）水器设计可详见国家建筑标准设计图集 05K232《分（集）水器 分汽缸》。

10. 集气罐、自动排气阀和手动放风阀

集气罐和自动排气阀用于排除热水供暖系统中的空气，一般设在系统的末端最高处，并使水流与空气泡浮升方向一致，以利排气。集气罐分立式和卧式，当高度不受限制时，宜选用立式。集气罐的直径应大于或等于干管直径的 1.5～2 倍，以使集气罐中的水流速不超过 0.05m/s。集气罐接出的排气管管径一般采用 DN15。在排气管上应设阀门，阀门应设在便于操作的地方，排气管引向附近水池。

在较大的供暖系统中，为了方便管理，宜设自动排气阀。自动排气阀所接排气管管径根据系统大小确定，排气管接至附近水池。排气管上不装阀门，但在干管和自动排气阀之间应设阀门以便检修。有条件时，可在自动排气阀前加设 Y 形过滤器。

在水平串联系统的散热器上宜装设手动放风阀。

11. 管材及其部件

热媒温度高于 200℃，或虽然热媒温度低于 200℃但管径大于 150mm 的管道可采用无缝钢管，并用外径和壁厚来表示，如 ϕ108×4mm；而热媒温度低于 200℃，管径小于 150mm 的管道，可采用焊接钢管（或水煤气管），用公称直径来表示，如 DN100 等。管道用部件，如弯头、三通、大小头等，可采用工厂生产的产品，不宜在现场加工。

（三）主厂房供暖管道设计

1. 主厂房供暖管道水力计算

热水供暖系统室内供暖管道最大允许流速生活、行政辅助建筑物应满足 2m/s，生产厂房仓库、公用辅助建筑物应满足 3m/s。

低压蒸汽供暖系统最大允许流速汽水同向流动应满足 30m/s，汽水逆向流动应满足 20m/s。

高压蒸汽供暖系统最大允许流速汽水同向流动应满足 80m/s，汽水逆向流动应满足 60m/s。

2. 主厂房供暖管道的坡度 i

供暖系统水平管道的敷设应有一定的坡度 i，坡向应有利于排气和泄水。对于热水管、汽水同向流动时的蒸汽干管和凝结水管，坡度宜采用 0.003，不得小于 0.002；立管与散热器连接的支管，坡度不得小于 0.01；对汽水逆向流动时的蒸汽干管，坡度不得小于 0.005。当受条件限制，热水管道（包括水平单管串联系统的散热器连接管）无法保持必要的坡度时，局部可无坡敷设，但该管道内的水流速不得小于 0.25m/s。

3. 主厂房供暖管道的热补偿

供暖管道的热补偿应尽量利用管道的弯曲管段进行自然补偿。当自然补偿不能满足要求时，应设置补偿器。补偿器应尽量采用方形补偿器，如无法设置方形补偿器时，可选择其他形式的补偿器，如波纹管补偿器等其他合适的补偿器。主管道由固定点起允许不装设补偿器的直管段最大长度见表 2-26。

表 2-26　　由固定点起允许不装设补偿器的直管段最大长度

热水温度（℃）	60	70	80	90	95	100	110	120	130	140	143	151	158
蒸汽压力（MPa）							0.05	0.10	0.18	0.27	0.30	0.40	0.50
直管段最大长度（m）	65	57	50	45	42	40	37	32	30	27	27	27	25

确定供暖管道固定支架间距时，不应使管道产生　纵向弯曲，一般可按表 2-27 查得。

表 2-27　　供暖管道固定支架最大允许跨距

公称直径（mm）			DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150
方形补偿器	地沟或架空敷设（m）		30	35	45	50	55	60	65	70	80
	无沟埋设（m）				45	50	55	60	65	70	80
套管补偿器	通行地沟或架空敷设（m）				25	25	35	40	40	50	55
	无沟埋设*（m）		24	30	36	36	48	56	56	72	72
波纹管补偿器	地沟或架空敷设（m）							8	10	12	12
	无沟埋设*（m）			30	36	36	48	56	56	72	72
球形补偿	地沟或架空敷设（m）		100～500（一般 400～500）								
L 形补偿器	地沟架空	长边（m）	≤15	18	20	24	24	30	30	30	30
		短边（m）	≥2	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	6.0
	无沟埋设	长边（m）	≤6	11.5	12	12	13	13	14	15	15
		短边（m）	≥2	2.5	3	3	3.5	4	4	5	5

公称直径（mm）			DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN450	DN500	DN600
方形补偿器	地沟或架空敷设（m）		90	100	115	130	145	160	180	200
	无沟埋设（m）		90	90	110	110	100	125	125	125
套管补偿器	通行地沟或架空敷设（m）		60	70	80	90	100	120	120	140
	无沟埋设*（m）		108	120	144	144	144	144	168	192
波纹管补偿器	地沟或架空敷设（m）		18	18	18	25	25	30	30	30
	无沟埋设*（m）		108	120	144					
球形补偿	地沟或架空敷设（m）		100～500（一般 400～500）							
L 形补偿器	地沟架空	长边（m）								
		短边（m）								
	无沟埋设	长边（m）	16.5	16.5	17	17	18	18	20.5	21
		短边（m）	6.5	7.5	8.5	9	10	10.5	11.5	13

*　套管补偿器及波纹管补偿器无沟埋设的固定支架最大允许跨距为直埋一次性补偿，并采用浮动式布置方式时的数据。

蒸汽供暖系统中，散热器立管、暖风机立管及热风幕入口管与蒸汽干管连接时，连接管道应设置往上返的膨胀弯管，弯管形式如图 2-16（a）所示。热水供暖系统中，干管与立管的连接弯管示意如图 2-16（b）所示。

4. 主厂房供暖管道的保温

（1）保温工程范围。包括分汽联箱、分（集）水器、凝结水箱、凝结水回收器等，分汽联箱蒸汽入口管、分水器入口管、集水器入口管，加热站内除了补给水管之外的所有管道及其设备，地沟内的管道，

跨越大门的管道及其他怕冻结的管道，怕烫伤人的管道。

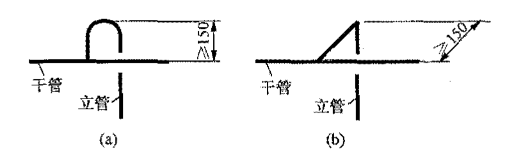


图 2-16　供暖立管与干管连接弯管示意图

（a）蒸汽供暖系统；（b）热水供暖系统

供暖管道的管径可依据供暖系统水力计算表选择。附录 B 为室内热水供暖系统水力计算表，附录 C 为室内高压蒸汽供暖系统水力计算表，附录 D 为室内高压凝结水管道水力计算表。

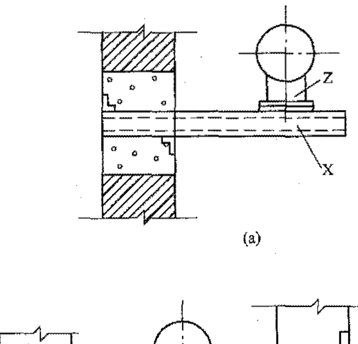
（2）保温材料。包括岩棉、矿棉、超细玻璃棉、膨胀珍珠岩以及它们的制品等，根据热媒温度、价格、保温性能等因素决定。保温材料的厚度计算参见第十一章第一节。

5. 管道支吊架

（1）支吊架组合方式。管道支吊架是由各种相关部件组合而成的，本手册中将给出简要介绍，详细请参见国家建筑标准设计图集 05R417-1《室内管道支吊架》。

1）支架组合。在主厂房供暖管道上使用的支架一般采用悬臂支架，悬臂生根在砖墙或柱子预埋件上，悬臂支架组合示意如图 2-17 所示。

2）吊架组合。主厂房供暖管道的吊架，一般生根在梁、板、简支上，其组合示意如图 2-18～图 2-20 所示。



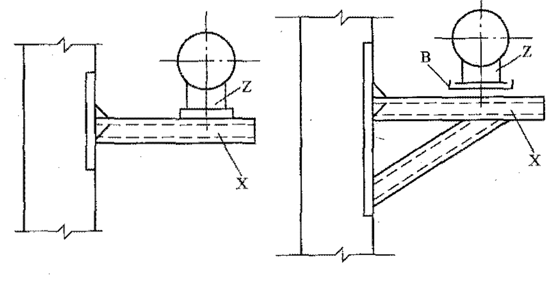


图 2-17　悬臂支架组合示意图

（a）悬臂生根在墙上；（b）、（c）悬臂生根在柱上

X—悬臂；Z—管道支座；B—导向板

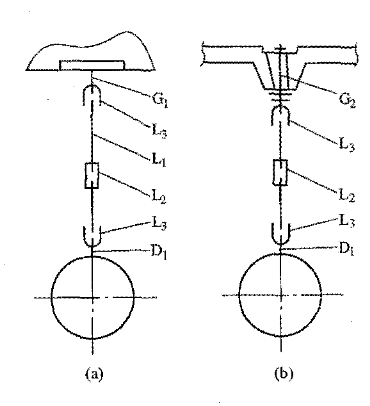


图 2-18　吊架生根在梁板上组合示意图

（a）生根在梁板埋件上；（b）生根在板缝上

G_1—吊板；G_2—板缝吊杆；L_1—拉杆；L_2—花篮螺钉；L_3—螺栓耳子；D_1—水平吊杆

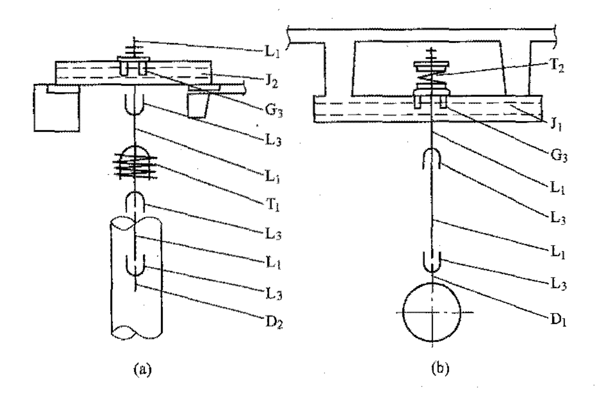


图 2-19　吊架生根在梁板简支上组合示意图

（a）生根在板上简支；（b）生根在板下简支

D_1—水平吊杆；J_1—板下简支；J_2—板（梁）上简支；G_3—支撑板；T_1—双板整定弹簧；T_2—上下方整定弹簧；L_1—拉杆；L_3—螺栓耳子；D_2—垂直管吊架

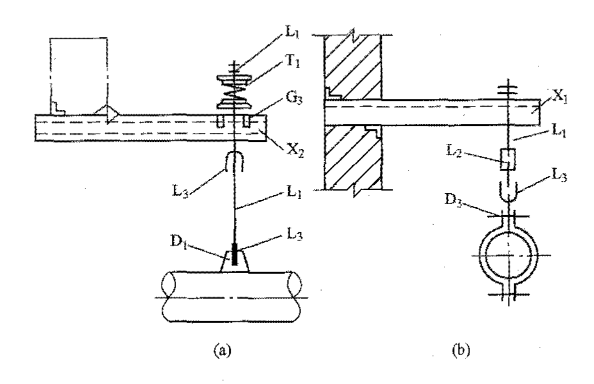


图 2-20　吊架生根在梁板墙悬臂上组合示意图

（a）生根在梁上悬臂；（b）生根在墙上悬臂

X_1—墙上悬臂；X_2—梁上悬臂；D_1—水平吊杆；D_3—水平管抱箍吊架；G_3—支撑板；T_1—双板整定弹簧；L_1—拉杆；L_2—花篮螺钉；L_3—螺栓耳子

（2）管道支架管部：①滑动（导向）支座，见表2-28；②固定支座，见表2-29；③垂直管道支座，适用于无保温管道，见表2-30。

（3）管道吊架管部：①水平管抱箍吊架，见表2-31；②水平管焊接吊架，见表2-32。

（4）悬臂形式：①墙上悬臂，见表2-33；②柱上悬臂，见表2-34。

（5）简支形式：①板下简支，见表2-35；②板（梁）上简支，见表2-36。

（6）生根部：①板上生根，见表2-37；②单孔吊板，见表2-38。

（7）拉杆部：①拉杆，见表2-39；②花篮螺钉，见表2-40。

（8）管道支架实例：①单管不保温管支架，见表2-41；②双管不保温管支架，见表2-42；③保温单管支架，见表2-43；④保温双管支架，见表2-44。

表2-28　滑动（导向）支座

序号	公称直径（mm）	允许荷载（kN）	H（mm）	支管（mm）	加强板（mm）	底板（mm）	质量（kg）	附图
				$d_0 \times s \times L$	$A_1 \times B_1 \times \delta_1$	$A \times B \times \delta$		
1	DN65	3.5	130	57×3×118	—	100×100×6	0.95	
2	DN80	4.4	150	57×3×110	—	100×100×6	0.92	
3	DN100	7.5	170	89×4×120	—	140×140×10	2.25	
4	DN125	12.0	190	89×4×130	—	140×140×10	2.80	
5	DN150	12.5	200	133×4×146	—	180×180×10	4.40	
6	DN200	35.0	240	133×4×144	—	180×180×10	4.37	
7	DN250	45.0	270	219×6×170	200×270×6	280×280×10	16.20	
8	DN300	55.0	300	219×6×160	200×270×6	280×280×10	14.90	
9	DN350	77.0	330	273×6×175	400×380×6	350×350×15	30.0	
10	DN400	100.0	360	273×6×170	400×380×6	350×350×15	29.50	
11	DN450	100.0	400	377×6×245	530×470×6	480×480×15	54.21	

表2-29　固　定　支　座

序号	公称直径（mm）	支管（mm）	水平推力（kN）	最大力矩（kN·m）		H（mm）	质量（kg）	附图
		$d_0 \times s$	$F_{X(Y)}$	M^t	M^{20}			
1	DN65	76×3.5	4	0.7	1.1	130	0.78	
2	DN80	89×4.5	5	1.2	2.0	150	1.11	
3	DN100	108×4.5	8	1.8	3.2	170	1.65	
4	DN125	133×4.5	10	3.0	5.0	190	2.42	
5	DN150	159×5	14	5.0	8.3	200	3.43	
6	DN200	219×6	25	12.4	14.4	230	7.57	
7	DN250	273×7	35	22.6	24.0	270	12.40	
8	DN300	325×8	60	34.8	34.8	300	20.60	
9	DN350	377×9	70	54.4	54.4	330	27.00	
10	DN400	426×10	100	74.8	74.8	360	36.94	
11	DN450	480×11	100	100.0	100.0	400	37.95	

注　M^t为管道运行初期在工作状态下对固定支架的力矩，M^{20}为管道运行初期在冷状态下对固定支架的力矩。

表 2-30 垂直管道支座

序号	公称直径（mm）	允许荷载 F_Z（kN）	h/H（mm）	b/B（mm）	δ（mm）	质量（kg）	附图
1	DN50	5	30/100	25/70	4	0.68	
2	DN65						
3	DN80						
4	DN100						
5	DN125	8	50/150	30/100	6	2.17	
6	DN150						
7	DN200	35	50/200	30/150	9	5.93	
8	DN250						
9	DN300						
10	DN350						
11	DN400	75	50/250	30/200	12	12.43	
12	DN450						
13	DN500						

表 2-31 水平管抱箍吊架

序号	公称直径（mm）	允许荷载 F_Z（kN）	H（mm）	扁钢抱箍（mm）			质量（kg）	附图
				$B\times\delta$	b	ϕ		
1	DN65	6	75	40×6	50	14	0.95	
2	DN80		82				1.04	
3	DN100		91				1.14	
4	DN125		104				1.30	
5	DN150	9	126	50×8	60	16	2.50	
6	DN200	17	165	50×10	70		4.14	
7	DN250	18	195	60×12			7.02	
8	DN300	27	227		80	22	8.16	
9	DN350		263	70×12	100	26	11.19	
10	DN400	40	287				12.17	

表 2-32 水平管焊接吊架

序号	公称直径（mm）	允许荷载 F_Z（kN）	H（mm）	吊板（mm） $A\times B\times C\times b\times\delta\times\phi$	加强板（mm） $A_1\times B_1\times\delta_1$	质量（kg）	附图
1	DN65	6.86	169	132×140×18×50×12×13.5	—	1.33	
2	DN80		177				
3	DN100	12.74	232	178×170×22×60×12×17.5		2.14	
4	DN125		245				
5	DN150		258		70×110×4		
6	DN200	20.58	303	193×200×25×70×18×22	100×110×6	5.47	
7	DN250	29.40	335	198×230×30×80×18×26	120×120×6	6.83	
8	DN300		361		150×120×6		

表 2-33　　墙上悬臂

序号	悬臂 1	允许弯矩 $M=F_Z l$（kN·m）		加固件 2		附图
	槽钢号	支架	吊架	型钢	L（mm）	
1	[8	1.45	2.30	∠50×5	300	
2	[10	2.10	3.00			
3	[12.6	2.90	5.10			
4	[14a	3.75	6.60			

注　悬臂 1 的长度 L 由设计决定。

表 2-34　　柱上悬臂

序号	悬臂 1	允许弯矩 $M=F_Z l$（kN·m）		加强板 2（mm）	附图
		吊架	支架		
1	∠50×5	0.37	0.30	1/2*×（100×100×10）	
2	∠75×5	0.87	0.74		
3	[6.3	1.56	1.10	1/2*×（120×120×10）	
4	[8	2.30	1.45		
5	[10	3.50	2.10		
6	[12.6	5.10	2.90		
7	[14a	6.60	3.75		
8	[16a	8.60	4.80		
9	[18a	11.00	6.00		
10	[20a	13.60	7.30		
11	2×[16a	17.20	9.60	2×1/2*×（120×120×10）	
12	2×[18a	22.00	12.00		
13	2×[20a	27.20	19.60		

* 采用钢板的 1/2（按对角线对折）。

表 2-35　　板下简支

序号	受力	型钢 1	l_1=1180mm		l_1=1480mm		附图
			$F_Z l$（kN·m）	L（mm）	$F_Z l$（kN·m）	L（mm）	
1	$1/4l_1<1\leqslant 1/2l_1$	[8	10.5	1400	9.0	1700	
2		[10	16.0		14.0		
3		[12.6	25.0		22.0		
4		[14a	33.0		28.5		
5		[16a	45.0		28.5		
6		[18a	58.0		50.0		
7	$0<1\leqslant 1/4l_1$	[8	14.0	1400	12.0	1700	
8		[10	21.5		19.0		
9		[12.6	34.0		29.5		
10		[14a	44.0		38.0		
11		[16a	59.0		51.0		

表 2-36　　板（梁）上简支

序号	型钢	允许弯矩 M=0.25$F_Z l_1$（kN・m）	支撑板 2（mm）	L（mm）	附图
1	[6.3	2.1		由设计决定	
2	[8	3.3			
3	[10	5.2			
4	[12.6	8.2			
5	[14a	10.7			

表 2-37　　板 上 生 根

序号	允许荷载 F_Z（kN）	钢板 1（mm×mm×mm）	拉杆 2（mm）		附图
			d	L	
1	9.0	100×100×10	12	设计决定	
2	18.0	100×100×10	14		

表 2-38　　单 孔 吊 板

序号	吊孔 d（mm）	允许荷载 F_Z（kN）	A（mm）	B（mm）	h（mm）	ϕ（mm）	δ（mm）	质量（kg）	附图
1	10	3.0	35	50	30	11	5	0.06	
2	12	4.5	40	55	35	13	6	0.09	
3	16	7.0	52	66	40	17	9	0.21	
4	20	13.5	64	77	45	21	12	0.39	
5	24	21.0	76	88	50	25	12	0.53	
6	30	30.5	94	107	60	31	16	1.05	
7	36	49.0	110	125	70	37	20	1.79	
8	42	72.0	130	150	85	43	24	3.06	
9	48	99.0	150	175	100	50	28	4.81	

表 2-39　　拉　　杆

序号	螺杆直径（mm）	允许荷载 F_Z（kN）	螺纹（mm）			螺杆长度 l（mm）	附图
			l_1（右）	l_2（左）	l_0		
1	10	4.5	75	50	75	标准长度 l=500、1000、1500、2000，可按实际设计要求取值，但 l_{max}=2000	吊杆两端均为右螺纹；吊杆一端为右螺纹，另一端为左螺纹
2	12	7					
3	16	13.5					
4	20	21	100	75	100		
5	24	30.5					
6	30	49	125	100	125		
7	36	72					
8	42	99	150	125	150		

表 2-40 花篮螺钉

序号	d（mm）	允许荷载 F_Z（kN）	D（mm）	s（mm）	A（mm）	b（mm）	F_1（mm）	F_2（mm）	H（mm）	质量（kg）
1	10	4.5	19.6	17	29	20	8	10	140	0.158
2	12	7.0	21.9	19	33	25	9	11	150	0.207
3	16	13.5	27.7	24	43	30	12	14	210	0.464
4	20	21.0	34.6	30	52	35	14	18	220	0.750
5	24	30.5	41.6	36	62	40	17	20	230	1.076
6	30	49.0	53.1	46	77	50	21	24	250	1.848
7	36	72.0	63.5	55	91	55	25	29	260	2.775
8	42	99.0	70.0	65	107	65	29	33	300	4.393
9	48	130.0	86.5	75	123	75	33	39	320	5.131

表 2-41 单管不保温管支架

序号	公称直径（mm）	尺寸（mm）		材料			
		A	B	1	2	3	4
1	DN25	120	50	∠36×4	• d10	1/2*×（50×50×5）	∠36×4
2	DN32			∠36×5			
3	DN40		60	∠45×5			
4	DN50			∠45×6			
5	DN65	150	70	∠50×6		1/2*×（50×50×5）	
6	DN80		80	∠50×6			
7	DN100	160	90	∠50×6	• d12		∠50×5
8	DN125	180	100	∠63×6			
9	DN150	200	120	[6.3			
10	DN200	230	140	[8	• d14	1/2*×（100×100×8）	∠60×5
11	DN250	250	150	[10			

* 采用钢板的 1/2（按对角线对折）。

表 2-42 双管不保温管支架

序号	公称直径（mm）	尺寸（mm）			材料			
		A	B	C	1	2	3	4
1	DN25	120	50	150	∠50×4	• d10	1/2*×(50×50×5)	∠36×4
2	DN32	120	50	150	∠50×5			
3	DN40	130	60	170	∠56×5			
4	DN50	130	60	180	∠63×6		1/2*×(50×50×5)	
5	DN65	140	70	190	[5			
6	DN80	150	80	210	[5			∠45×4
7	DN100	160	90	230	[6.3			∠50×5
8	DN125	180	100	250	[8	• d12		∠63×5
9	DN150	200	120	300	[10			∠70×6
10	DN200	230	140	340	2[10	• d14	1/2*×(100×100×8)	
11	DN250	250	160	400	2[14			

注 采用钢板的 1/2（按对角线对折）。

表 2-43　　　　　　　　　　　　　　保温单管支架

序号	公称直径	尺寸（mm）			材料		附图
		A	B	H	1	2	
1	DN25	170	70	70	∠36×4	∠45×5	
2	DN32	180		80	∠36×4	∠45×5	
3	DN40	190		90	∠45×5	∠56×5	
4	DN50	200	80	110	∠45×5	∠56×5	
5	DN65	200	90	130	∠50×5	[6	
6	DN80	210	100	150	∠63×5	[8	
7	DN100	220	120	170	[5	[8	
8	DN125	230	150	190	[6.3	[10	
9	DN150	250	180	200	[10	2×[10	
10	DN200	300	210	230	2×[10	2×[14a	
11	DN250	350	240	270	2×[16a	2×[16a	

注　1. 部件 4，对于 50mm≤DN≤150mm，钢板采用 50mm×50mm×5mm 的 1/2（按对角线对折）；对于 DN≥200，钢板采用 100mm×100mm×8mm 的 1/2（按对角线对折）。

2. 部件 3 详见表 2-28。

表 2-44　　　　　　　　　　　　　　保温双管支架

序号	公称直径（mm）	尺寸（mm）				材料			附图
		A	B	C	H	1	2	5	
1	DN25	170	70	250	70	∠50×5	[5	∠50×5	
2	DN32	180		290	80	∠50×5	[5		
3	DN40	190		300	90	∠50×5	[5		
4	DN50	200	80	310	110	[5	[6.3		
5	DN65	200	90	330	130	[6.3	[8	∠63×5	
6	DN80	210	100	340	150	[8	[10		
7	DN100	220	120	360	170	[10	2[8		
8	DN125	230	150	380	190	2[10	2[10		
9	DN150	250	180	420	200	2[14a	2[14a		
10	DN200	300	210	470	230	2[16a	2[16a		
11	DN250	350	240	500	270	2[18a	2[18a		

注　1. 部件 4，对于 50mm≤DN≤150mm，钢板采用 50mm×50mm×5mm 的 1/2（按对角线对折）；对于 DN≥200 mm，钢板采用 100mm×100mm×8mm 的 1/2（按对角线对折）。

2. 部件 3 详见表 2-28。

（四）主厂房供暖系统设计注意事项

（1）在初步设计阶段应和土建建筑专业配合，解决好建筑热工、围护结构形式和性能等有关问题。严寒、寒冷地区主厂房外窗宜采用双层节能型窗或中空玻璃节能型窗，并优先选用平开窗。节能型窗宜优先采用塑料窗（如 PVC-U 塑料窗、玻璃纤维增强塑料窗即玻璃钢窗）、断热铝合金窗。

（2）对寒冷地区和严寒地区，在供暖设计中应考虑启动、大修期间的非正常工况的冷风浸入加热量。

（3）主厂房供暖系统设计中要考虑机组分批、分期建设的过渡问题。

（4）加热站宜布置在主厂房内或离主厂房较近的区域。主厂房供热干管比摩阻易取上限，以利于全厂管网平衡调节。

（5）供暖系统应尽量采用同程式。

（6）主厂房供暖干管可以布置在柱子上，并在两

柱之间设置吊架，吊架可以生根在梁板上。

（7）主厂房供暖管道的阀门设置要求：①每组散热器进出水管上设置阀门；②分汽联箱、分（集）水器的进出口管上设置调节阀门；③供暖干管的分支管上设置阀门。

（8）主厂房蒸汽供暖管道应采用焊接或法兰连接。

（9）主厂房如采用蒸汽供暖，暖风机管路出口应设置两个50%容量的并联疏水器。

（10）主厂房供暖管道不应穿过变压器室，不宜穿过配电装置室等电气设备间。

（五）主厂房其他供暖方式

电厂中主厂房属于高大空间，设备散热量大，造成主厂房内温度梯度大，底层温度低，上部温度高。特别是严寒地区电厂的锅炉房内，在热压的作用下，冬季底层冷风渗透强烈，底层温度不容易保证，而上部温度多为45～50℃。为减小热压作用下锅炉房底层的冷风渗透，冬季宜在运转层增加格栅封堵。

除此之外，山东电力工程咨询有限公司针对上述状况进行了多年的研究，开发了冬季控制严寒地区锅炉房底层负压的专利技术。此专利技术的前提是机组正常运行、锅炉房内有充足的设备散热，并且保证锅炉房有良好的密封性。室外空气由屋顶风机从上部送入室内，室外空气流经高温区被充分混合，进风温度升高，同时降低上部空气温度。随着送风量增加，室内空气压力随之提高，当建筑物底层的压力等于或略大于室外压力（热压和风压）时，整个建筑的所有孔洞、缝隙均处在排风状态，这就阻止了建筑物下部的冷风渗透。这项技术主要依靠把上部的设备散热量下送，达到提高底层供暖效果的目的。

第三节　主厂房全面通风

一、主厂房通风设计原则

火力发电厂主厂房具有以下特点：主厂房建筑结构高大，汽轮机、锅炉及其辅助设备在运行过程中散热量大。以上特点导致了主厂房内热压大，严寒地区600MW机组的主厂房，冬季汽机房的热压约为42Pa，锅炉房的热压约为117Pa；夏季汽机房的热压约为5.8Pa，锅炉房的热压约为11.5Pa；主厂房需要的通风换气量大。除此之外，对少数300MW以下机组的锅炉房，锅炉送风机在室内吸风，这对锅炉房的通风形式有一定的影响。

主厂房应设置全面通风系统。根据主机机型、布置及外部自然条件，主厂房通风系统设置原则如下：

（1）湿冷机组和间接空冷机组的汽机房宜采用自然通风方式，当自然通风方式不能满足卫生要求时，可采用机械通风或自然与机械相结合的通风方式。

（2）直接空冷机组汽机房宜采用自然进风、机械排风方式。

（3）全封闭汽机房应采用机械送风、自然排风或机械排风方式。

（4）位于风沙多发地区的汽机房可采用机械送风、自然排风或机械排风方式，进风应过滤。

（5）汽机房采用地下或半地下布置时，地下或半地下部分应设置机械送风。

（6）当锅炉送风机夏季不由室内吸风时，紧身封闭锅炉房应采用自然通风方式；当锅炉送风机夏季由室内吸风时，应采用自然进风、机械排风方式。

（7）燃油、燃气锅炉房宜采用自然进风、机械排风方式，排风装置应为防爆型。

（8）燃气轮机房或联合循环发电机组主厂房应采用自然进风、机械排风方式排除余热，同时还应考虑事故排风，设施应防爆。系热锅炉房宜用自然通风方式。当进、排风口采取降噪措施时，风机压头应能克服降噪设备的阻力。

（9）燃气轮机室内布置时，联轴器间、轮机间、齿轮间罩壳内的通风口宜接至室外，并考虑适当的消音措施。燃气轮机房或联合循环发电机组主厂房的通风系统宜设置避免空气再循环的高位排风设施，并考虑冬季排风设施关闭后排除有害气体的措施。燃气轮机室内布置时的发热量较小，当设备发热量不清楚时，通风量可按每小时5～7次的换气量估算，当设备发热量明确后，应进行核算。

（10）主厂房进风可以利用建筑进风窗、进风百叶窗或机械送风装置等进风设施，排风可以设置通风天窗、屋顶通风器、屋顶通风机等排风设施。通风天窗应设置避风装置。

对于小机组单坡屋面、除氧间封闭且高于汽机房屋面时，当满足汽机房室内卫生标准时，汽机房屋面可不设通风装置，而利用除氧间高侧窗排风。但应该注意以下几点：①在设计中应保证足够的排风面积。②在排风口应设置挡风板，挡风板两端应用端板封堵。沿着挡风板长度方向，每隔一定距离，设置横向隔板，距离不超过挡风板宽度的1.5倍。③应采取防止煤仓间的煤粉从高侧窗进入汽机房，污染汽机房的措施。

对于上述情况，汽机房排风也可以设置在除氧间屋面上，这样不仅提高进排风高差，而且提高进排风温差，可大大增强排风效果。

二、主厂房设备散热量确定

1. 概述

主厂房设备散热量是指在主厂房内的汽轮发电机

组及其辅机、汽水管道、锅炉本体及其辅机，以及烟、煤、风管道等，从其外表面散发到室内的热量。这些散热量主要跟散热设备管道外表面面积、外表面与室内空气温差及室内空气流速大小有关。

主厂房设备及管道散热量和散湿量宜按工艺专业提供的数据确定。当工艺专业无法提供数据时，散热量可按照单位面积法或机组效率法等方法估算，或按照其他同类型同容量机组的经验数据确定散热量和散湿量。循环流化床锅炉的散热量宜按照同容量普通锅炉散热量的1.5倍计算。

2. 设备散热量确定方法

设备散热量确定方法包括单位面积法、热平衡法（通风法）、机组效率法和设备散热量线算图法。下面分别介绍这四种确定方法。

（1）单位面积法。利用单位面积法计算设备散热量的计算式为

$$Q_{re}=\sum A\alpha\Delta t \tag{2-27}$$

其中

$$\alpha=11.63+\sqrt{7v} \tag{2-28}$$

式中 Q_{re}——设备散热量，W；

A——设备及管道外表面面积，即散热面积，m^2；

α——设备及管道外表面的传热系数，W/（m^2·℃）；

Δt——散热表面和室内空气温差，℃；

v——室内空气流速，m/s，在计算中可取0。

法国CEM公司对于600MW机组的汽机房和除氧间，利用单位面积法计算的设备散热量见表2-45。

表2-45　600MW机组汽机房、除氧间利用单位面积法计算的设备散热量

汽机房				除氧间			
设备名称	单位散热量 q（W/m^2）	散热面积 A（m^2）	设备散热量 Q_{re}（W）	设备名称	单位散热量 q（W/m^2）	散热面积 A（m^2）	设备散热量 Q_{re}（W）
汽轮机高压缸	290	113	32770	给水箱	290	560	162400
汽轮机低压缸	116.3	200	23260	除氧器	290	90	26100
汽轮机管道	290	183	53070	各类管道	290	1138	330020
发电机	116.3	260	30238	空气加热器	290	100	29000
凝汽器	116.3	850	98855	其他管道	290	500	145000
各类加热器	290	828	240120	其他	290	200	58000
各类管道	290	4100	1189000	小计	—	—	750520
给水泵汽轮机	290	300	87000	—	—	—	—
电动机	—	—	108000	—	—	—	—
小计	—	—	1862313	—	—		
总计（W）	2612800						

注 本表在计算中的数据取值如下：

α=11.63W/（m^2·℃）；$q=\alpha\Delta t$。

1. 对于发电机、低压缸、凝汽器等，最大温差Δt=10℃，则q=116.3W/m^2。

2. 对于其他保温外表面与室内空气间最大温差Δt=25℃，则q=290W/m^2。

3. 电动机平均效率η=0.95。

（2）热平衡法（通风法）。热平衡法是通过测试进出风口的温度、风速来确定进、排风量，由此计算出排风所带走的热量就是设备散热量。

1）汽机房设备散热量确定计算式为

$$Q_{re}^{t}=0.28c[L_{p1}^{t}(t_{p1}^{t}-t_{w})+L_{p2}^{t}(t_{p2}^{t}-t_{w})] \tag{2-29}$$

式中 Q_{re}^{t}——汽机房设备散热量，W；

c——空气比定压热容，kJ/（kg·℃）；

L_{p1}^{t}——汽机房排风量，kg/h；

t_{p1}^{t}——汽机房排风口温度，℃；

t_{w}——夏季室外通风计算温度，℃；

L_{p2}^{t}——从汽机房排到锅炉房的排风量，kg/h；

t_{p2}^{t}——从汽机房排到锅炉房空气的温度，℃。

2）锅炉房设备散热量确定计算式为

$$Q_{re}^{b}=0.28c[L_{p}^{b}(t_{p}^{b}-t_{w})+L_{p2}^{t}(t_{p2}^{t}-t_{w})] \tag{2-30}$$

式中 Q_{re}^{b}——锅炉房设备散热量，W；

L_{p}^{b}——锅炉房排风量，kg/h；

t_p^b——锅炉房排风温度，℃。

（3）机组效率法。因为设备散热量是设备的热损失，是影响汽轮机、锅炉及其辅机效率很重要的因素，所以设备散热量可用汽轮机、锅炉容量的百分比来表示。为了提高机组的效率，应采取各种措施，把设备散热量控制在最低的范围内。换言之，设备散热量是可以在一定范围内人为决定的，不一定非要依靠测量来确定。国内外很多公司常采用机组效率法来确定设备的散热量。如日本三菱公司在某电厂设计中，对于350MW机组的汽机房设备散热量按汽轮机容量的0.6%计算，即Q_{re}^t=350×0.006=2.1（MW）。德国ABB公司也用汽轮机容量的百分比来标定汽轮机本体的散热量，如图2-21所示。

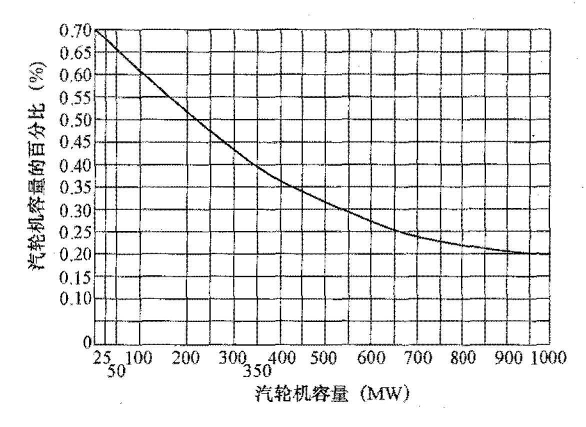


图2-21　德国ABB公司汽机房设备散热量曲线

欧洲KGB和WKV两机构用锅炉容量的百分比来表示锅炉本体设备的散热量，如图2-22所示。

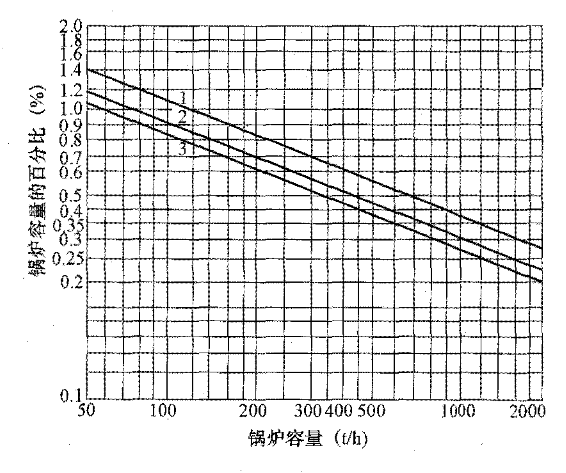


图2-22　欧洲KGB和WKV两机构锅炉本体设备散热量曲线

1—褐煤；2—烟煤；3—油

（4）国外各公司设备散热量线算图。

1）汽机房设备散热量线算图。如德国S公司（斯坦缪勒公司）汽机房设备散热量线算图如图2-23所示。

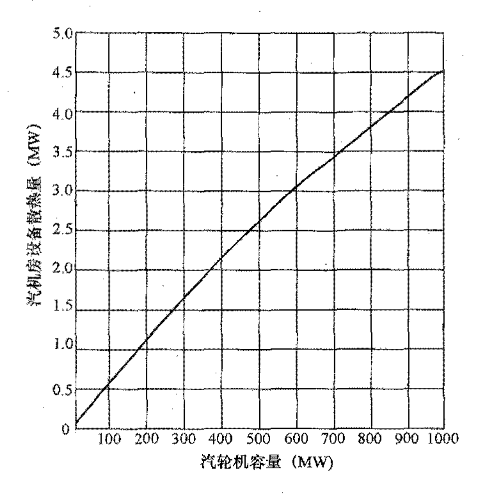


图2-23　德国S公司汽机房设备散热量线算图

2）锅炉房设备散热量线算图。如德国DIN1942锅炉本体设备散热量线算图如图2-24所示。各公司锅炉房设备散热量一般取锅炉本体设备散热量的1.5倍，即锅炉房设备散热量中其他辅机散热量占50%。

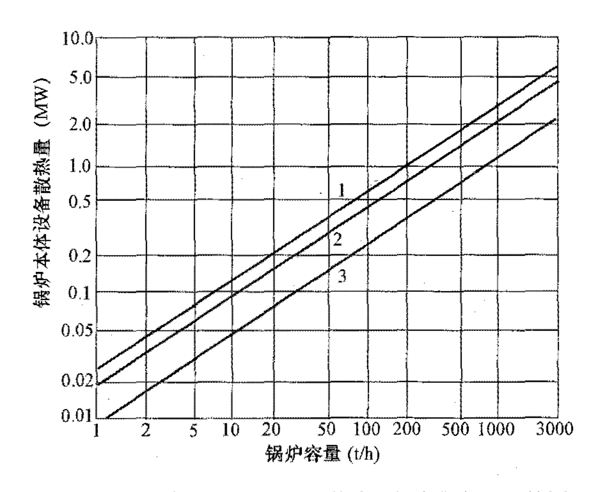


图2-24　德国标准DIN1942锅炉本体设备散热量线算图

1—褐煤；2—烟煤；3—油

3. 设备散热量确定

（1）汽机房设备散热量。根据图2-21、图2-23汇总各公司汽机房设备散热量于表2-46。利用表2-46所示的汽机房设备散热量，绘成线算图如图2-25所示。

（2）锅炉房设备散热量。根据图2-22、图2-24，汇总各公司锅炉房设备散热量于表2-47。利用表2-47所示的锅炉房设备散热量，绘成线算图如图2-26所示。

表 2-46　汽机房设备散热量　(MW)

数据来源	汽轮机容量				
	25	50	100	200	300
德国 ABB 公司	0.17	0.33	0.60	1.05	1.29
德国 S 公司	0.25	0.40	0.70	1.20	1.70
数据来源	汽轮机容量				
	350	500	600	800	1000
德国 ABB 公司	1.38	1.41	1.42	1.44	1.50
德国 S 公司	1.90	2.60	3.0	3.85	4.60

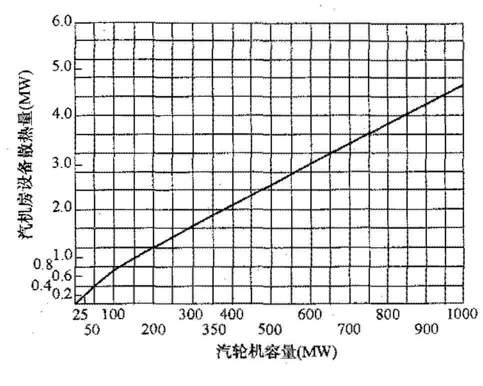


图 2-25　汽轮机房设备散热量线算图

表 2-47　锅炉房设备散热量　(MW)

数据来源	锅炉容量（t/h）									
	130	230	420	670	1000	1160	1700	2000	2700	3300
	对应的汽轮机容量（MW）									
	25	50	100	200	300	350	500	600	800	1000
欧洲 KGB、WKV 机构	1.40	2.00	3.00	4.15	5.72	5.18	7.19	7.80		
德国标准 DIN1942	0.90	1.20	1.50	2.55	3.15	3.85	4.50	5.25	6.75	7.50

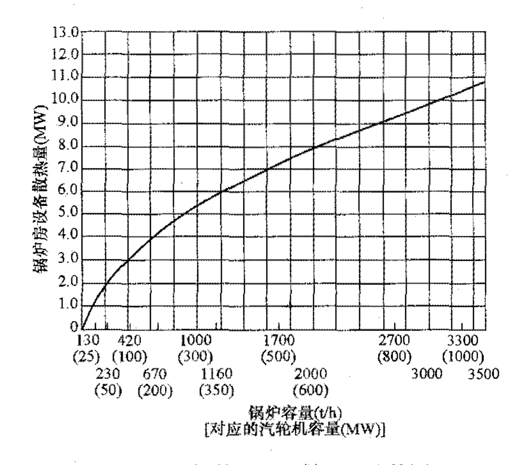


图 2-26　锅炉房设备散热量线算图

（3）除氧间设备散热量。除氧间设备散热量一般为汽机房设备散热量的 30%～40%。

4. 主厂房设备管道散热量及散湿量估算

主厂房设备管道散热量及散湿量的估算见表 2-48。

表 2-48　主厂房设备管道散热量及散湿量的估算

汽轮机容量（MW）	汽机房散热量（MW）	汽机房散湿量（kg/h）	除氧间散热量（MW）	锅炉房散热量（MW）
25	0.3	200	0.1	1.5
50	0.4	350	0.15	2.2
100	0.7	500	0.25	3.2
200	1.2	1000	0.42	4.2
300	1.7	1100	0.6	5.5
350	1.9	1130	0.67	5.9
500	2.6	1200	0.9	7.3
600	3.0	1240	1.05	8.0
800	3.8	1360	1.33	9.4
1000	4.7	1400	1.65	10.5

三、主厂房通风量计算

1. 主厂房通风量计算原则

汽机房通风量应按照排除余热量或余湿量所需风量的较大值确定，锅炉房、燃气轮机房和余热锅炉房应按照排除余热量所需风量确定。主厂房余热量仅计设备及管道散热量。

2. 自然通风进、排风温度确定

（1）进风温度宜取夏季室外通风计算温度，如对室外进风进行降温处理，则采用降温机组的送风温度。

（2）排风温度宜符合以下要求：

1）汽机房排风温度为

$$t_p^t = t_w + (8\sim10)℃ \tag{2-31}$$

且排风温度 t_p^t 不宜低于 39℃。

2）除氧间排风温度为

$$t_p^{de}=t_w+(10\sim11)℃ \tag{2-32}$$

且排风温度 t_p^{de} 不宜低于 40℃。

3）锅炉房排风温度为

$$t_p^b=t_w+(11\sim13)℃ \tag{2-33}$$

且排风温度 t_p^b 不宜低于 41℃。

4）余热锅炉房排风温度为

$$t_p^b=t_w+(7\sim9)℃ \tag{2-34}$$

（3）工作地点温度为

$$t_g\leqslant t_w+(3\sim5)℃ \tag{2-35}$$

（4）主厂房平均温度为

$$t_{av}=0.5(t_g+t_p) \tag{2-36}$$

3. 通风量计算式

（1）汽机房通风量计算式为

$$L^t=\frac{3.6\times10^6Q_{re}^t}{c(t_p^t-t_j^t)} \tag{2-37}$$

或

$$L^t=\frac{10^3W}{d_p^t-d_j^t} \tag{2-38}$$

式中 L^t——汽机房通风量，kg/h；

Q_{re}^t——汽机房设备散热量，MW；

t_p^t、t_j^t——汽机房进、排风口空气温度，℃；

c——空气比定压热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

W——汽机房散湿量，kg；

d_j^t、d_p^t——汽机房进、排风口空气绝对湿度，g/kg。

（2）锅炉房通风量计算式为

$$L^b=\frac{3.6\times10^6Q_{re}^b}{C(t_p^b-t_j^b)} \tag{2-39}$$

式中 L^b——锅炉房通风量，kg/h；

Q_{re}^b——锅炉房设备散热量，MW；

t_j^b、t_p^b——锅炉房进、排风温度，℃。

四、主厂房通风气流组织设计

主厂房通风的效果不仅与通风量的大小有关，同时取决于气流组织是否合理。汽机房通风的气流组织应使汽机房外窗进入的空气尽可能地流经底层、夹层、除氧框架内侧，经由运转层，沿途消耗汽轮机设备及管道散发的热量后经汽机房屋面排风设备将热空气排至室外。设计中在汽机房 B、C 列之间的夹层、运转层、除氧器层尽量多设置格栅，在运转层汽轮机和汽机房 B 列之间设置格栅，其他区域少量设置格栅。同样，锅炉房气流组织应使气流尽可能流经设备及管道散热多的区域。主厂房自然进风、自然排风通风断面图如图 2-27 所示。

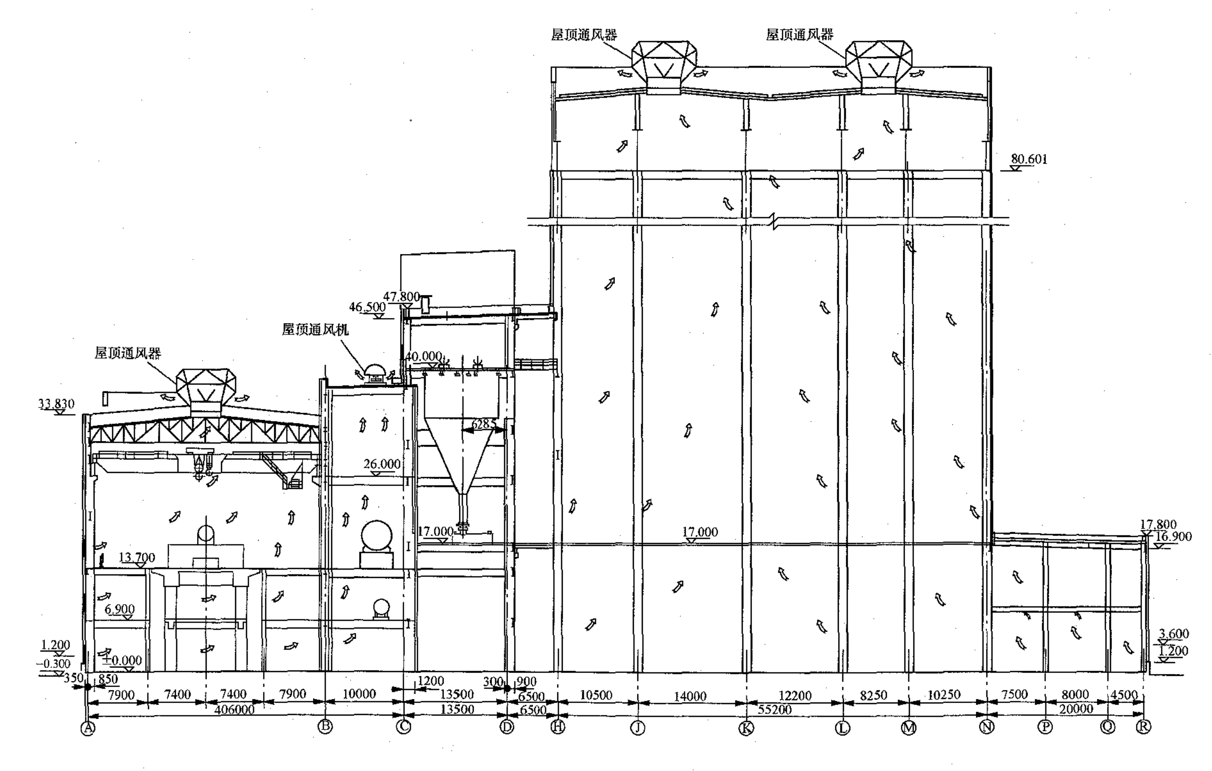


图 2-27 自然进风、自然排风通风断面图

五、主厂房通风方式

主厂房通风方式主要分为四种：① 自然进风、自然排风方式；②自然进风、机械排风方式；③机械进风、自然排风方式；④机械进风、机械排风方式。

（一）自然进风、自然排风方式

1. 概述

自然进风、自然排风方式是一种全面通风方式。自然通风是依靠室内外的空气温度差产生的热压来诱导空气流动。主厂房属于高热车间，主厂房内设备及管道散发大量热量，底层冷空气被加热后向上流动，导致主厂房内产生负压，在主厂房内形成与室外的压力差。室外空气从主厂房底部进入室内，被室内热量加热后从上部自然排风装置排到室外。

主厂房自然通风的基本依据是全面通风理论。通过对主厂房的全面通风换气，消除室内设备散热量及散湿量，从而使主厂房内的环境温度达到设计要求。当主厂房采用自然通风方式时，应按热压作用计算。但应注意室外风压、风向的影响，排气天窗及高侧窗应有避风措施。自然进风、自然排风通风断面图如图2-27所示。

2. 自然通风计算

主厂房自然通风计算是根据排出余热所需要的通风量，确定自然通风进、排风口的位置，分配每个窗孔的进、排风量。

（1）计算通风换气量。由式（2-37）～式（2-39）计算得到。

（2）确定进、排风口位置及进、排风量。

汽机房应充分利用底层和夹层进风窗，锅炉房应充分利用底层以及运转层的第一排进风窗。在实际工程中，如果汽机房底层和夹层的进风窗面积不能满足要求，也可利用运转层进风。汽机房进风量分配可按照底层60%、夹层40%或底层40%、夹层40%、运转层20%来考虑；锅炉房进风量分配可按照底层30%、运转层或紧身封闭第一排窗进风70%来考虑。

主厂房自然通风计算的方法很多，在设计中力求计算方法简单可靠。本手册中将介绍中和界法，即先假定中和界的位置，再进行通风计算。中和界向上移，排风窗孔面积增大，进风窗孔面积减小；中和界向下移则相反。通过多次试算，确定合理、可行且经济的进、排风窗孔面积。为保证运转层人员处于进风区域，中和界应位于运转层3m以上。

进、排风口余压计算式分别为

$$\Delta p_j = h_j(\rho_w - \rho_n)g \tag{2-40}$$

$$\Delta p_p = h_p(\rho_w - \rho_n)g \tag{2-41}$$

式中 Δp_j、Δp_p——进、排风口余压，Pa；

h_j、h_p——从进、排风口中心到中和界的高度，m；

ρ_w——对应室外通风计算温度的空气密度，kg/m^3；

ρ_n——对应室内平均温度t_{av}的空气密度，kg/m^3，t_{av}可由式（2-36）计算得到；

g——重力加速度，m/s^2。

（3）确定进、排风口面积。

1）进风口面积计算式为

$$A_j = \frac{L_j}{3600\mu_j\sqrt{2|\Delta p_j|\rho_w}} = \frac{L_j}{3600\mu_j\sqrt{2h_j(\rho_w-\rho_n)g\rho_w}} \tag{2-42}$$

2）排风口面积计算式为

$$A_p = \frac{L_p}{3600\mu_p\sqrt{2|\Delta p_p|\rho_p}} = \frac{L_p}{3600\mu_p\sqrt{2h_p(\rho_w-\rho_n)g\rho_p}} \tag{2-43}$$

式中 A_j、A_p——进、排风口面积，m^2；

L_j、L_p——进、排风口空气流量，kg/h；

μ_j、μ_p——进、排风口的流量系数；

ρ_p——上部排风温度下的空气密度，kg/m^3。

3. 自然通风设计举例

【例2-1】 已知某电厂汽机房安装1台600MW汽轮发电机，见图2-28。工程所在地区室外通风计算温度为30℃，对应的空气密度ρ_w为1.165kg/m^3，求自然通风所需进、排风口面积。

解 由式（2-31）可知，汽机房排风温度$t_p^t=t_w+10=30+10=40$(℃)，对应空气密度ρ_w为1.128kg/m^3；

工作地点温度t_g=30+4=34（℃）；

主厂房平均温度$t_{av}=0.5(t_g^t+t_p^t)$=0.5×（34+40）=37（℃），对应空气密度ρ_n为1.139kg/m^3。

根据汽机房设备散热量3.0MW和汽机房进、排风温差，由式（2-37）可得汽机房自然通风量为

$$L_j=\frac{3.6\times10^6 Q_{re}^t}{c(t_p^t-t_j^t)}=\frac{3.6\times10^6\times3}{1.01\times(40-30)}=1069307\ (\text{kg/h})$$

汽机房底层和夹层的风量分配按60%和40%设计，则：

底层进风量为

L_d^t=60%×L_j=60%×1069307=641584（kg/h）

夹层进风量为

$L_j^t=40\%\times L_j=40\%\times1069307=427723$（kg/h）

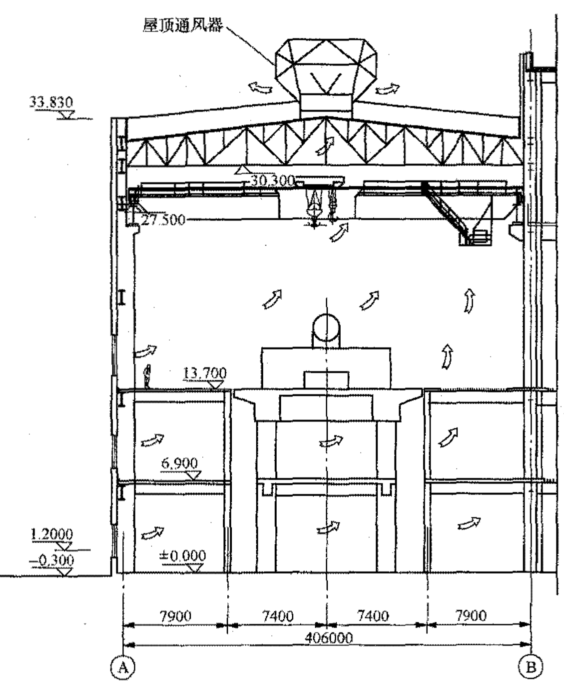


图 2-28　汽机房自然通风断面图

假定几个中和界标高，根据式（2-42）、式（2-43）分别计算进、排风口面积，底层、夹层开窗流量系数按 0.6 取值，屋顶通风器流量系数按 0.844 取值，计算结果列于表 2-49。

表 2-49　　汽机房自然通风计算

进、排风口面积	中和界高度（m）				
	17.7	19.7	21.5	23.1	24.7
底层进风窗面积（m^2）	98.6	92.8	88.4	85.0	81.9
夹层进风窗面积（m^2）	87.5	79.0	73.1	68.9	65.3
排风窗面积（m^2）	116.1	124.0	132.6	142.0	153.7
进排风口总面积（m^2）	302.2	295.8	294.1	295.8	300.9

进、排风口总面积与中和界的关系如图 2-29 所示。

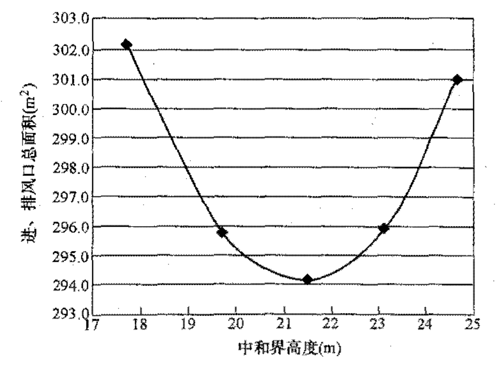


图 2-29　进、排风口总面积与中和界关系图

由此可见，当中和界高度在 20.7m 时，进、排风口总面积最小，因此理论上中和界高度定在 21.5m 是比较经济的。当然，在实际工程中，应根据各层可利用的进、排风口面积以及进排风设备的价格来确定合理的中和界高度，既要满足通风要求，又要使通风设备总投资趋于最低。

4. 自然通风设备选择

（1）进风窗及进风装置。

1）建筑进风窗。在自然通风系统中，进风窗的形式多种多样，电厂常用的有平开窗和推拉窗。推拉窗外形美观整洁、密封性好、不宜损坏，但开窗面积一般小于 50%；平开窗开窗面积大于推拉窗，密封性优于推拉窗，但是容易损坏，玻璃也容易破损。

2）进风百叶窗。进风百叶窗从调节方式上可分为固定型和调节型，调节型包括手动和电动调节两种。进风百叶窗从结构形式上可分为单层和双层，从用途上可分为防雨型和防沙型。主厂房进风窗应采用防雨型百叶窗。风沙较大的地区宜选用防沙型。当选用调节型百叶窗时，百叶窗的开启角度可以就地手动或电动调节，也可由远方电动控制。寒冷和严寒地区冬季冷风渗透量大，主厂房不应使用进风百叶窗。进风百叶窗的选用可参见国家建筑标准设计图集 05J624-1《百叶窗（一）》。进风百叶窗有效面积系数可参考表 2-50。

表 2-50　　进风百叶窗有效面积系数

类型	有效面积系数
单层防雨百叶窗	0.586
双层防雨调节百叶窗	0.5251
单层调节百叶窗	0.655
双层防沙调节百叶窗	0.336

注　对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

3）锅炉房紧身封闭上的进风窗。锅炉房紧身封闭上的进风窗在平面上处于锅炉房的设备布置区，因为窗下面有很多设备，因此在设计中应特别注意漏雨的问题。一旦发生漏雨，雨水会落到设备上，损坏设备，发生事故。因此，不应单独采用平开窗或推拉窗，最好在外面设置固定百叶窗，在里面设置平开窗或推拉窗。在寒冷和严寒地区，因为冬季冷风渗透量大，不应只设置百叶窗。

（2）排风装置。在电厂常用的排风装置主要有屋顶通风器、天窗等。

1）屋顶通风器。屋顶通风器是以型钢为骨架，用彩色压型钢板或玻璃钢组合而成的全避风型的自然通风装置。它具有结构简单、质量小、不用电力也能达到良好的通风效果等优点。屋顶通风器分为常规型和

薄型两种。

a. 常规型屋顶通风器。常规型屋顶通风器为弧形结构，承受风压能力好，尺寸小、节省材料，阻力小。这种屋顶通风器外形如图 2-30 所示。常规型 HZT 系列屋顶通风器的外形尺寸及风量估算值列于表 2-51、表 2-52。

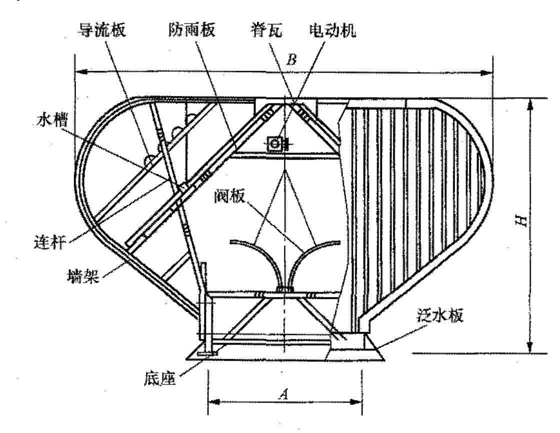


图 2-30　屋顶通风器外形图

表 2-51　常规型 HZT 系列屋顶通风器参数

序号	型号	喉口尺寸 A (mm)	外形尺寸及质量			电动机功率 (kW)
			B (mm)	H (mm)	质量 (kg/m)	
1	HZT-15	1500	3250	1450	175	0.37
2	HZT-20	2000	3750	1800	220	0.37
3	HZT-25	2500	4750	2150	255	0.37
4	HZT-30	3000	5750	2500	295	0.55
5	HZT-35	3500	6250	2850	330	0.55
6	HZT-40	4000	7250	3200	420	0.55
7	HZT-45	4500	8250	3550	450	0.75
8	HZT-50	5000	9250	3850	520	0.75
9	HZT-55	5500	10250	4200	630	1.1
10	HZT-60	6000	11250	4450	710	1.1
11	HZT-70	7000	12250	4500	800	1.5
12	HZT-80	8000	13250	4800	890	1.5

注　电动机功率为每 6m 屋顶通风器所需电动机功率。

表 2-52　常规型 HZT 系列屋顶通风器风量估算值　(kg/h)

型号	h_p					
	10	15	20	25	30	40
$t_p-t_w=8℃$						
HZT-15	5000	6120	7070	7910	8660	9990
HZT-20	6670	8170	9430	10540	11550	13320
HZT-25	8340	10210	11790	13180	14440	16640
HZT-30	10000	12250	14150	15820	17320	19970
HZT-35	11670	14290	16500	18450	20210	23300
HZT-40	13340	16330	18860	21090	23100	26630
HZT-45	15000	18380	21220	23720	25990	29960
HZT-50	16670	20420	23580	26360	28870	33290
HZT-55	18340	22460	25930	29000	31760	36620
HZT-60	20010	24500	28290	31630	34650	39950
HZT-70	23320	28560	32970	36870	40390	46630
HZT-80	26650	32640	37690	42130	46160	53300
$t_p-t_w=10℃$						
HZT-15	5570	6820	7870	8800	9640	11130
HZT-20	7420	9090	10500	11730	12850	14840
HZT-25	9280	11360	13120	14670	16070	18550
HZT-30	11130	13630	15740	17600	19280	22260
HZT-35	12990	15900	18360	20530	22490	25970
HZT-40	14840	18180	20990	23470	25710	29680
HZT-45	16700	20450	23610	26400	28920	33390
HZT-50	18550	22720	26240	29330	32130	37100
HZT-55	20410	24990	28860	32270	35350	40820
HZT-60	22260	27260	31480	35200	38560	44530
HZT-70	25900	31720	36630	40950	44860	51800
HZT-80	29600	36250	41860	46800	51270	59200
$t_p-t_w=12℃$						
HZT-15	6070	7430	8580	9590	10510	12140
HZT-20	8090	9910	11440	12790	14010	16180
HZT-25	10110	12390	14300	15990	17520	20230
HZT-30	12140	14860	17160	19190	21020	24270
HZT-35	14160	17340	20020	22380	24520	28320
HZT-40	16180	19820	22880	25580	28020	32360
HZT-45	18200	22290	25740	28780	31530	36410
HZT-50	20230	24770	28600	31980	35030	40450
HZT-55	22250	27250	31460	35180	38530	44500
HZT-60	24270	29730	34320	38370	42040	48540
HZT-70	28190	34530	39870	44580	48830	56380
HZT-80	32220	39460	45570	50940	55810	64440
$t_p-t_w=15℃$						
HZT-15	6740	8250	9530	10650	11670	13470
HZT-20	8980	11000	12700	14200	15560	17960
HZT-25	11230	13750	15880	17750	19440	22450
HZT-30	13470	16500	19410	21300	23330	26940
HZT-35	15700	19250	22760	24850	27220	31430
HZT-40	17930	22000	25400	28400	31110	35920
HZT-45	20190	24750	28580	31950	35000	40410
HZT-50	22450	27500	31750	35500	38890	44900

续表

型号	h_p					
	10	15	20	25	30	40
HZT-55	24700	30250	34930	39050	42780	49390
HZT-60	26940	33000	38100	42600	46670	53380
HZT-70	31220	38240	44150	49360	54080	62440
HZT-80	35680	43700	50460	56420	61800	71360

注 1. h_p为排风口中心与中和界的高差，m；t_p为排风温度，℃；t_w为室外通风温度，℃。

2. 对于表中参数，设计者应根据实际工程进行校核验算。

b. 薄型屋顶通风器及其衍生产品。近年来薄型屋顶通风器得到大范围应用。薄型屋顶通风器是在薄型屋顶通风天窗的基础上研制开发的，是一种安装在建筑屋面消除建筑物余热、余湿的避风型自然通风装置。薄型屋顶通风器是由一定模数的通风单元并列组合而形成的一种低矮型屋面自然通风装置。其特点是高度低、风阻力小、模块化单元组合，可以方便地连续组装。通风器单元模数为通风单元的宽度和高度。薄型屋顶通风器分为开敞式和启闭式，结构示意分别如图2-31、图2-32所示。

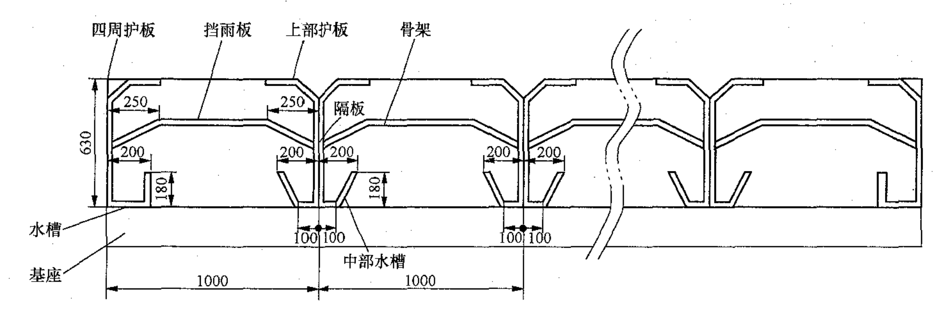


图2-31　薄型屋顶通风器（开敞式）结构示意图

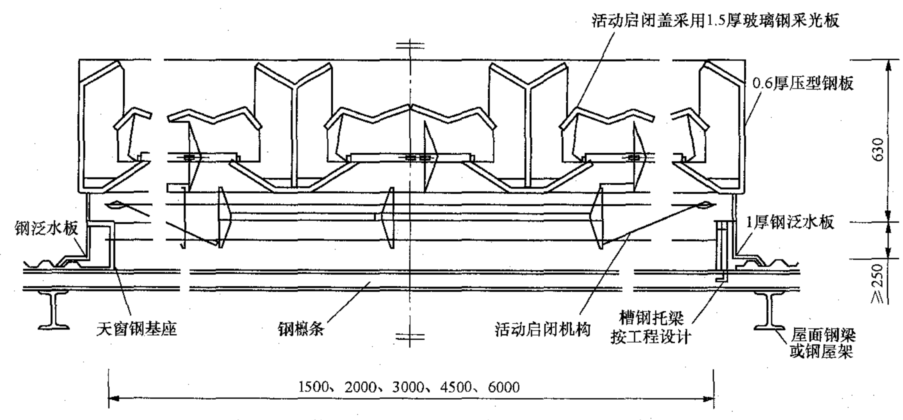


图2-32　薄型屋顶通风器（启闭式）结构示意图

薄型屋顶通风器目前包括多种结构形式，包括400、600、850mm多个模数高度，根据薄型屋顶通风器结构技术特点，在保证整体结构强度、防雨雪功能和制造材料技术基础上，适当加大通风单元模数有利于提高产品的通风性能。薄型屋顶通风器的外围护板一般采用0.6mm厚压型钢板，即彩色涂层钢板，或以镀锌钢板为原材，经辊压冷弯成型的建筑用维护板材，也可采用具有采光功能的1.5mm厚玻璃钢采光板，其透光率不小于80%。

尽管最初的薄型屋顶通风器通风单元有小型结构骨架（如图2-31所示），但这些结构骨架仅是形成各自通风单元的结构支撑，没有形成通风器整体连续的结构强度关系，无法保证通风器与屋面结构的安装强度，产品安装时需要在通风口间设置多条大型结构基础，这是薄型屋顶通风器与常规大型通风器最大的技术差异。

选用常规型屋顶通风器和薄型屋顶通风器都应注意冬季阀板关闭后，雪花从通风器上部排风口和底部排水口倒灌飘落到阀板上形成积雪和融化后向室内滴水的问题。因此设计时应考虑采取必要的防止冬季飘雪倒灌的措施。

由普通薄型屋顶通风器衍生出来的桁架式通风天窗也分为开敞式和启闭式，结构示意如图2-33、图2-34所示。

桁架式通风天窗通过桁架结构形成连续的并列通风单元结构，具有薄型屋顶通风器的技术特点。桁架结构的大跨距荷载强度不仅对通风设备本身形成固定支撑，也使得产品安装完全不用设置大型基础。在上部排风口设置的阀板或阻风板起到了防雨雪和避风的作用（如图2-35所示），同时，阀板设置在通风器上部也方便维护检修。

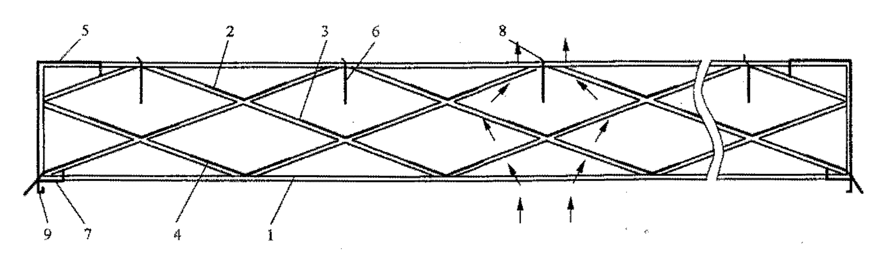


图 2-33 桁架式通风天窗（开敞式）结构示意图

1—桁架；2、3、4—挡雨板；5—外护板；6—阻风板；7—泛水板；8—桁架连杆；9—调高支座

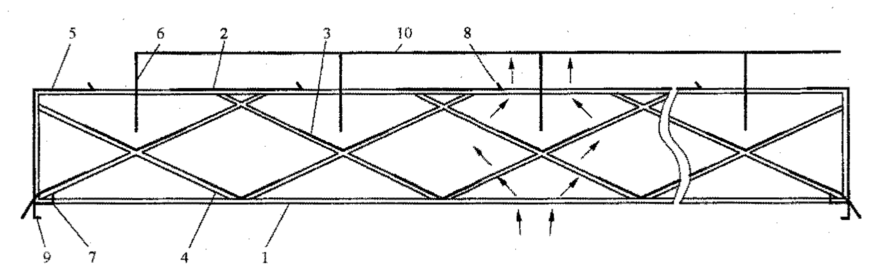


图 2-34 桁架式通风天窗（启闭式）结构示意图

1—桁架；2、3、4—挡雨板；5—外护板；6—阀板；7—泛水板；8—桁架连杆；9—调高支座；10—传动装置

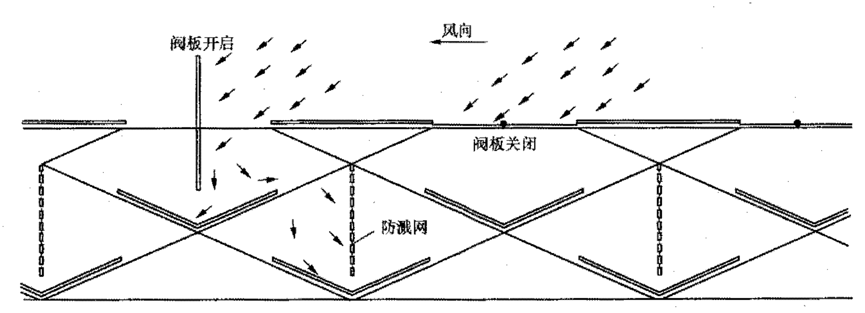


图 2-35 桁架式通风天窗防雨雪和避风技术示意图

桁架式通风天窗具有接近于大型通风器的通风性能，其通风阻力系数ζ=2.17。

2）天窗。天窗的特点有阻力系数大（一般ζ=4）、流量系数小（一般μ=0.5）、开启和关闭烦琐、玻璃和窗户容易损坏。严寒地区由于温差的影响，汽机房天窗的混凝土天窗架容易损坏。当选择无避风措施的天窗时，因为迎风面的天窗不能排风，所以开启面积为计算面积的 2 倍。常用避风天窗的局部阻力系数见表 2-53。

表 2-53　　常用避风天窗的局部阻力系数

简图	项目	数值
l，$3h$，$1.25h$，80°，h，i=1/12	l/h	1.25
	ζ	4.0
	用途	无窗扇，可防雨，适用于南方高温车间，防雨角度为 30°～35°
l，$4.5h$，$1.5h$，80°，h，i=1/12	l/h	1.5
	ζ	2.2
	用途	无窗扇，可防雨，适用于南方高温车间，防雨角度为 30°～35°
l，$2.5h$，h，80°，i=1/5，$0.6h$，$2h$，$0.6h$	l/h	1.0
	ζ	4.1
	用途	无窗扇，可防雨，适用于南方高温车间，防雨角度为 30°～35°

续表

不避风型天窗	
ζ	2.52
用途	适用于不避风和不调节的车间

中悬矩形天窗		
开启角度	l/h	ζ
80°	1.5	4.2
用途	结构简单，阻力小，能调节，适用于高温车间	

上悬矩形天窗												
开启角度	35°				45°				55°			
l/h	1	1.5	2	2.5	1	1.5	2	2.5	1	1.5	2	2.5
ζ	13.9	11.5	9.5	9.1	11.5	9.2	6.8	6.1	11.7	7.1	5.1	4.8
说明	开启角度不大，结构简单，阻力大											

带水平挡板矩形天窗	
开启角度	80°
l/h	1.5
ζ	3.9
说明	空气动力性能良好，阻力小

（二）自然进风、机械排风方式

1. 概述

自然进风、机械排风是一种负压通风方式。它利用屋顶通风机排除主厂房内热空气，自然地导致从主厂房底层、夹层及运转层进风。这种通风方式的通风计算简单，在设计中不用考虑热压、风压，但应校核最大进风风速。可以利用通风换气量选择屋顶通风机台数，但在选择风机时，风量应附加 10%～20%。如果汽机房和除氧间 A、C 排跨距较大时，为增加 B、C 轴之间的气流扰动，可以在汽机房零米和夹层的 B 轴处按一定间距和方向设置诱导风机。诱导风机应布置在通风死角和散热量较大的设备附近，其作用是以少量高速喷射气体诱导周围静止的空气，从而达到更好的通风换气效果。

自然进风、机械排风方式的通风断面如图 2-36 所示。

2. 通风计算

（1）进风风速的确定。新鲜空气入口风速一般采用 2～4m/s，考虑到火力发电厂主厂房大跨度、大空间的特点，进风风速应取大一些，把进风风速提高到 3～6m/s。

（2）进风面积计算。进风面积可用进风风速确定，即

$$A_j = \frac{L_j}{3600 v_j \rho_w} \tag{2-44}$$

式中 A_j ——进风口面积，m^2；

L_j ——进风量，kg/h；

v_j ——进风风速，m/s；

ρ_w ——进风空气密度，kg/m^3。

（3）自然进风、机械排风通风系统的设备选择。

1）进风窗及进风装置。装置选择见自然通风方式。

2）排风装置。排风装置通常采用屋顶通风机。屋顶通风机由风叶、风筒、风帽、风阀、传动部件、安全网等部件组成。屋顶通风机可以分为轴流式和离心式两种，火力发电厂常用的是中低压、大流量的轴流式屋顶通风机。对于氢冷发电机组，屋顶风机须选用防爆型。设计者还应注意，屋顶通风机的规格型号应根据计算通风量及实际要求的机外余压来确定。厂家样本中给出的风量和压力，往往在实际运行中并不能满足要求。

3）诱导风机。YDF-A 系列诱导通风机结构示意及性能参数分别如图 2-37 及表 2-54 所示。

图 2-36 自然进风、机械排风方式的通风断面图

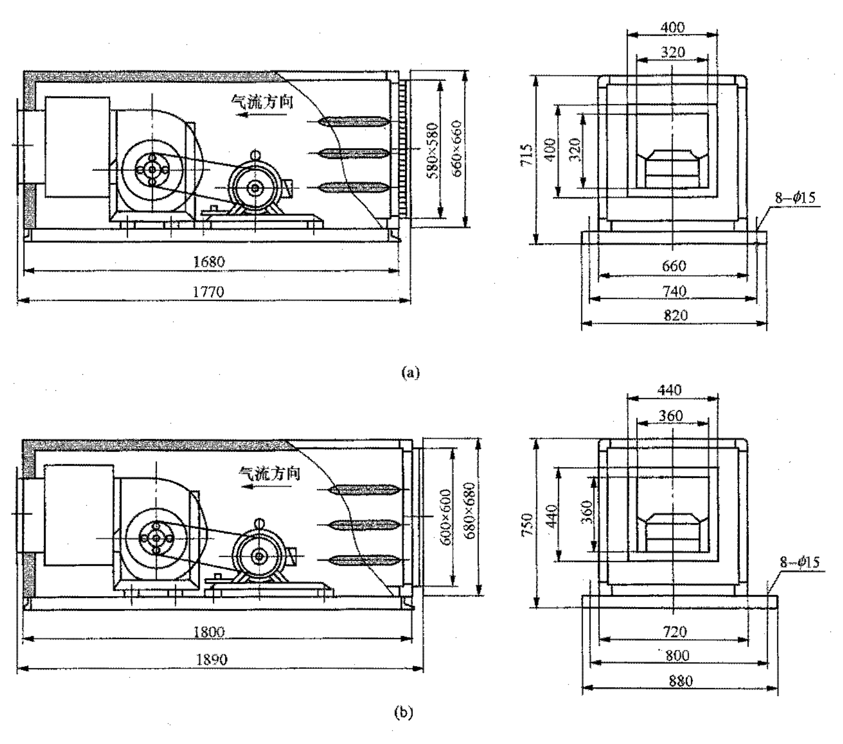


图 2-37 YDF-A 系列诱导通风机结构示意图

（a）YDF-A-No2.5 型；（b）YDF-A-No2.8 型

表 2-54　YDF-A 系列诱导通风机性能参数

型号	转速（r/min）	风量	全压（Pa）	功率（kW）	噪声 dB（A）	效率（%）
YDF-A-No2.5	4428	3600	1736	4	58	71
YDF-A-No2.8	3900	6000	1760	5.5	60	72

（三）机械进风、自然排风方式

1. 概述

机械进风、自然排风是一种正压通风方式。室外空气经过进风装置过滤、冷却（或加热）处理后直接送入主厂房的工作地带，消除余热、余湿后的热空气经过主厂房顶部的自然排风装置排至室外。夏季进风装置可对室外空气进行过滤、冷却处理；过渡季节进风装置可以不运行，只靠排风装置维持主厂房内的适量通风换气；冬季进风装置可以作为换气装置，经加热（或不加热）向室内适当送风，部分空气可以在室内再循环。这种通风系统比较适用于北方干燥地区和南方炎热地区。当送风设备采用直接蒸发降温机组时，应在 B、C 排之间布置满足总风量 30%的直接蒸发降温机组。这种通风方式的通风断面如图 2-38 所示。

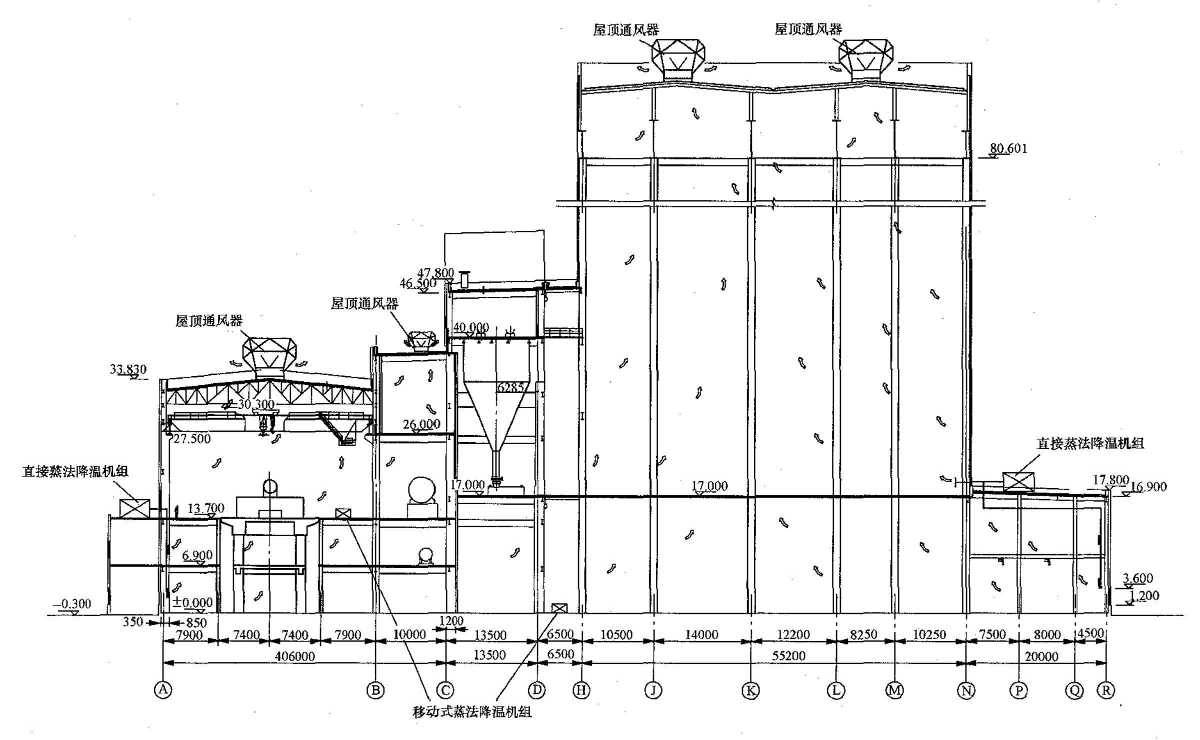


图 2-38　机械进风、自然排风方式的通风断面图

2. 通风计算

（1）送风计算温度。如果对室外空气不进行处理，送风计算温度可采用室外设计计算温度，即夏季采用室外通风计算温度，冬季采用室外供暖计算温度。如果对室外空气进行处理，送风温度可以采用进风装置处理后的空气温度。

（2）排风温度及排风面积计算。此计算详见本节五（一）2、3。对于降温通风系统，排风温差可以适当加大，以减少通风量。

（3）设备选择。

1）进风装置可采用直接蒸发降温机组或送风机组。

2）排风装置一般采用屋顶通风器。

（四）机械进风、机械排风方式

1. 概述

这种通风方式采用的是全面机械通风系统。室外空气通过进风装置处理后送入主厂房，消除余热及余湿，变成热湿空气后通过机械排风装置排出室外，室内保持正压。这种通风系统适用于夏季炎热地区。与其他通风系统相比，这种通风系统能提高进、排风能力，更有效地排除室内的热湿空气，改善通风气流组织。从理论上讲，这种通风系统是最理想的通风方式。当送风设备采用直接蒸发降温机组时，应在 B、C 排之间布置满足总风量 30%的直接蒸发降温机组。机械进风、机械排风方式的通风断面如图 2-39 所示。

2. 通风计算

（1）进、排风温度。进风温度宜取夏季通风室外计算温度，如对室外进风进行降温处理，则采用降温机组的送风温度；排风温度可按式（2-31）～式（2-33）计算得到。对于降温通风系统，排风温差可以适当加大，以减少通风量。

（2）进、排风装置的容量。此容量可根据通风换气量确定。

（3）设备选择。

1）进风装置可采用直接蒸发降温机组或送风机组。

2）排风装置一般采用屋顶通风机。

（五）四种通风方式的优、缺点及技术经济比较

1. 四种通风方式的优、缺点对比

四种通风方式的优、缺点对比见表 2-55。

2. 四种通风方式的技术经济比较

四种通风的宏观技术经济比较见表 2-56。

表 2-56 中四种通风方式的初投资、运行效果是显而易见的。因为第Ⅰ种通风方式不用电力，运行成本最低，其次是第Ⅱ种通风方式和第Ⅲ种通风方式，而第Ⅳ种通风方式成本最高；从运行管理角度看，因为第Ⅰ种通风方式只需关闭和开启进风窗或进风百叶、排风天窗或屋顶通风机的阀板，所以运行管理简单、方便，不需要配备专业的管理人员；对于第Ⅱ种通风方式和第Ⅲ种通风方式，由于屋顶通风机、进风装置的风机及其传动设备或其他装置的电动机需要经常检修和维护，所以需要专业人员定期巡检；而对于第Ⅳ种通风方式，进、排风装置均需要经常维护和检修，需要素质较高的技术人员。

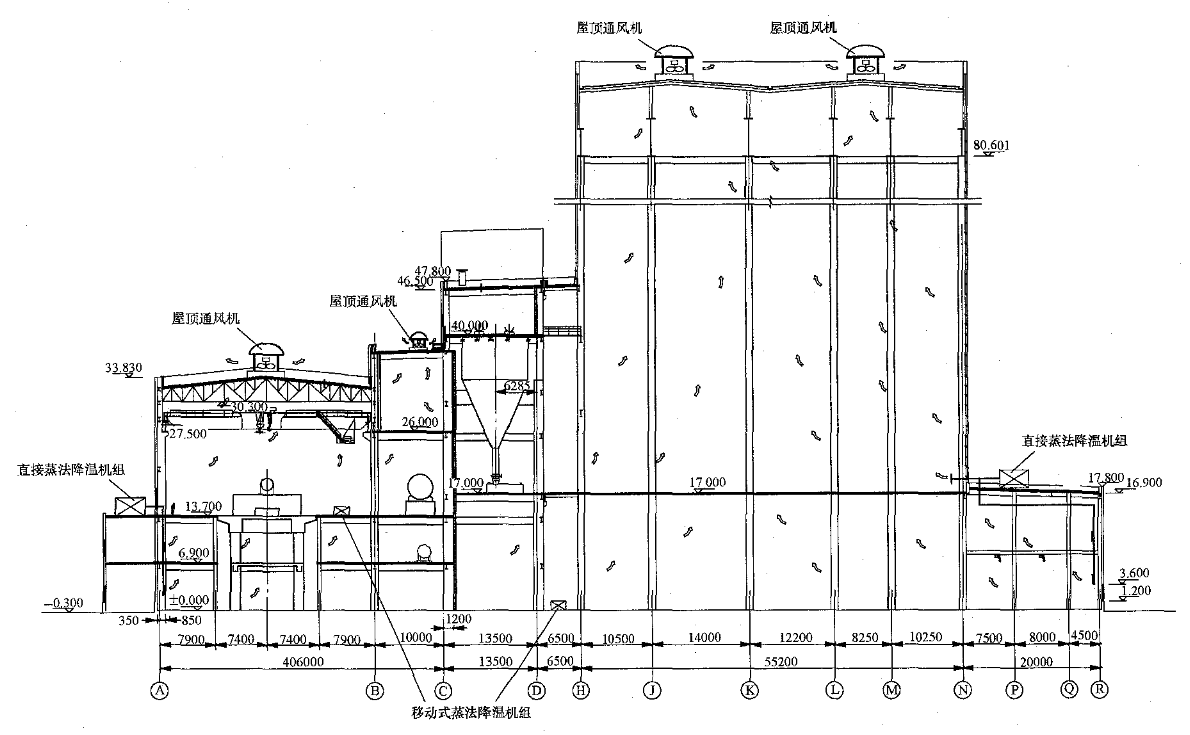


图 2-39　机械进风、机械排风方式的通风断面图

表 2-55　　**四种通风方式的优、缺点对比**

通风方式	优　点	缺　点	备　注
自然进风、自然排风（方式Ⅰ）	（1）充分利用自然能源，不用电力，运行成本低。 （2）通风系统简单，投资少。 （3）运动部件少，运行方便，维护简便。 （4）基本能达到通风的目的	（1）设备散热量大，进排风面积大，导致冷风渗透量大，增加了冬季供暖热负荷。 （2）通风系统调节不方便，气流组织不好控制，易产生气流死角，局部地方可能产生过热	（1）为了减少通风死角，在汽机房、除氧间各层楼板上应设置通风格栅。 （2）为了提高通风效果，汽机房自然通风的排风装置宜布置在除氧间屋顶上。 （3）在锅炉房，紧身封闭第一排窗设计中应考虑防漏雨措施。 （4）在寒冷、严寒地区的火力发电厂，不宜采用活动百叶窗作为进风装置
自然进风、机械排风（方式Ⅱ）	（1）通风系统简单，动力大，只要开屋顶通风机和进风窗就能运行。 （2）通风效果不受室外风速及风向的影响。 （3）能较好地达到通风效果	（1）消耗电力大，运行费高。 （2）屋顶通风机容易损坏，维护管理麻烦。 （3）负压通风，室外空气渗透量大，容易向主厂房里渗进其他有害气体	

续表

通风方式	优　点	缺　点	备　注
机械进风、自然排风（方式Ⅲ）	（1）不仅能满足通风降温的要求，而且能保证冬季供暖的需要。气流分配均匀，克服了通风死角。 （2）由于是正压通风，所以减少了冷风渗透量，减少了供暖热负荷。 （3）由于空气经过处理，所以进风空气品质好。 （4）由于进风机组集中，所以运行管理方便，可以实现远方控制	（1）设备、风道占地面积大，布置麻烦。 （2）建设投资大。 （3）运行费用高。 （4）对于运行管理的要求高	
机械进风、机械排风（方式Ⅳ）	（1）通风效果较理想，各季节可根据室外空气参数进行控制和调节。 （2）减少冷风渗透量，降低供暖热负荷。 （3）控制和调节能实现远方控制	（1）建设初投资大。 （2）运行费用高。 （3）对运行管理人员素质要求高	

表 2-56　四种通风方式的技术经济比较

通风方式	初投资	运行成本	运行管理	运行效果
自然进风、自然排风（方式Ⅰ）	良好	最好	最好	最差
自然进风、机械排风（方式Ⅱ）	良好	良好	良好	较差
机械进风、自然排风（方式Ⅲ）	良好	良好	良好	良好
机械进风、机械排风（方式Ⅳ）	较差	较差	较差	最好

（六）锅炉半封闭通风方式

锅炉房运转层以下封闭时，可采用自然进风、机械排风方式。排风可以通过锅炉房运转层封闭屋面上设置的屋顶通风机或外墙上的轴流通风机实现，进风可以从锅炉房底层窗户自然进入。当采用屋顶通风机排风时，通风机的位置不应影响运转层屋面的正常运行及检修空间。

六、主厂房空气热平衡

（一）概述

虽然主厂房的空气流入和排出、设备的散热及围护结构的耗热等过程十分复杂，但是在主厂房内的空气进出量和热量交换均是平衡的。在实际工程设计中，平衡计算是设计的基础，特别是空气热平衡计算，对限制锅炉送风机在室内的吸风量尤为重要。

（二）空气热平衡计算中的参数

1. 空气热平衡计算中采用的室内温度

在空气热平衡计算中采用的室内温度见表 2-57。

表 2-57　在空气热平衡计算中采用的室内温度（℃）

主厂房内区域及室内温度物理量符号	室内温度	
	冬季	夏季
汽机房底层 t_d^t	16	t_w+（3～5）
除灰间 t^d	10	t_w+（3～5）
汽机房运转层 t_y^t	16	t_w+（3～5）
锅炉房运转层 t_y^b	16	t_w+（3～5）
汽机房屋面下 t_{p1}^t	30	t_w+（8～10）
从汽机房流入锅炉房的温度 t_{p2}^t	25	（$t_d^t+t_{p1}^t$）/2
锅炉房屋面下 t_p^b	30	t_w+（11～13）
锅炉送风机吸风温度 t_{xf}^b	30	$2/3(t_p^b+t^d)$
主厂房运转层以上	取运转层温度和屋面下温度的算术平均值	

2. 设备散热量

设备散热量可从表 2-45 查得。

（三）热平衡

1. 汽机房热平衡

（1）夏季热平衡计算式为

$$Q_{re}^t = Q_{p1}^t + Q_{p2}^t \tag{2-45}$$

$$Q_{re}^t = L_j^{tw}(h_p^t - h_j^{tw}) + L_j^{tm}(h_p^t - h_j^{tm}) \tag{2-46}$$

式中　Q_{re}^t——汽机房设备散热量，W；

Q_{p1}^t——汽机房排除到室外的热量，W；

Q_{p2}^t——汽机房排入到锅炉房的热量，W；

L_j^{tw}——汽机房从窗户进风量，kg/h；

h_p^t——汽机房排风的焓，kJ/kg；

L_j^{tm} ——汽机房机械进风量，kg/h；

h_j^{tw}、h_j^{tm} ——汽机房从窗户进风、机械进风的焓，kJ/kg。

（2）冬季热平衡计算式为

$$Q_{re}^t - Q_{jz}^t = Q_p^t \quad (2\text{-}47)$$

$$Q_{re}^t - Q_{jz}^t = L_j^{tw}(h_p^t - h_j^{tw}) + L_j^{tm}(h_p^t - h_j^{tm}) \quad (2\text{-}48)$$

式中　Q_{jz}^t ——汽机房建筑围护结构耗热量，包括围护结构基本耗热量、冷风渗透附加耗热量和冷风侵入附加耗热量，W；

Q_p^t ——汽机房排除热量，W。

2. 锅炉房热平衡

（1）夏季锅炉房热平衡计算式为

$$Q_{re}^b = 0.28c[L_{p2}^t(t_p^b - t_{p2}^t) + L_j^{bw}(t_p^b - t_w) + L_j^{bm}(t_p^b - t_j^{bm})] \quad (2\text{-}49)$$

式中　Q_{re}^b ——锅炉房设备散热量，W；

c ——空气比热容，kJ/（kg・℃）；

L_{p2}^t ——从汽机房流入锅炉房的风量，kg/h；

L_j^{bw} ——锅炉房窗户进风量，kg/h；

t_p^b ——锅炉房排风温度，℃；

t_w ——夏季室外通风计算温度，℃；

L_j^{bm} ——锅炉房机械进风量，kg/h；

t_j^{bm} ——锅炉房机械进风温度，℃。

（2）冬季锅炉房热平衡计算式为

$$Q_{re}^b - Q_{jz}^b = 0.28c[L_{p2}^t(t_p^b - t_{p2}^t) + L_j^{bw}(t_p^b - t_w) + L_j^{bm}(t_p^b - t_j^{bm})] \quad (2\text{-}50)$$

式中　Q_{jz}^b ——锅炉房建筑围护结构耗热量，包括围护结构基本耗热量、冷风渗透附加耗热量和冷风侵入附加耗热量，W。

（四）空气平衡

1. 汽机房空气平衡

（1）夏季空气平衡计算式为

$$L_j^{tw} + L_j^{tm} = L_{p1}^t + L_{p2}^t \quad (2\text{-}51)$$

式中　L_{p1}^t ——汽机房屋面排出风量，kg/h。

（2）冬季空气平衡计算式为

$$L_j^{tw} + L_j^{tm} = L_{p1}^t + L_{p2}^t \quad (2\text{-}52)$$

2. 锅炉房空气平衡

（1）夏季（冬季）空气平衡计算式为

$$L_{p2}^t + L_j^{bw} + L_j^{bm} = L_p^b + L_{xf}^b + L_{lf}^b \quad (2\text{-}53)$$

式中　L_p^b ——锅炉房屋面排出风量，kg/h；

L_{xf}^b ——锅炉送风机在锅炉房吸风量，kg/h；

L_{lf}^b ——锅炉在锅炉房漏风量，kg/h。

（2）冬季锅炉送风机允许在锅炉房吸风量计算式为

$$L_{xf}^b = L_{p2}^t + L_j^{bw} + L_j^{bm} - L_{lf}^b \quad (2\text{-}54)$$

（3）冬季锅炉送风机从锅炉房和室外吸入的空气混合温度计算式为

$$t_{mx} = \frac{L_{xf}^b t_{xf}^b + (L_f - L_{xf}^b)t_w}{L_f} \quad (2\text{-}55)$$

式中　t_{mx} ——吸入空气的混合温度，℃；

t_{xf}^b ——锅炉送风机吸风温度，℃；

L_f ——锅炉送风机总送风量，kg/h。

（五）热湿比

所谓热湿比是有余热和余湿的主厂房中，余热量（显热）和余湿量之比。热湿比线是主厂房内空气从一个状态点到另一个状态点的热湿变化关系，即空气的处理过程线。热湿比线可以在焓湿图上查到。热湿比计算式为

$$\varepsilon = \frac{3.6Q_{exc}^t}{D} \quad (2\text{-}56)$$

式中　ε ——热湿比，kJ/kg；

Q_{exc}^t ——汽机房余热量，W；

D ——汽机房设备散湿量，kg/h。

主厂房内的余热：

夏季为　$Q_{exc}^t = Q_{re}^t$　(2-57)

冬季为　$Q_{exc}^t = Q_{re}^t - Q_{jz}^t$　(2-58)

当热湿比$\varepsilon \geqslant 20$kJ/kg 时，式（2-46）和式（2-48）中的 h_p^t、h_j^{tw}、h_j^{tm} 可用 t_p^t、t_j^{tw} 和 t_j^{tm} 替代（t_p^t 为汽机房排风温度，℃；t_j^{tw} 为汽机房从窗户进风温度，℃；t_j^{tm} 为汽机房机械进风的温度，℃）。

七、蒸发冷却通风及其在主厂房中的应用

蒸发冷却空气处理技术是一项通过水蒸发相变吸热，实现送风温度下降的空气处理技术，根据送风是否与水直接接触分为直接蒸发式（DEC）和间接蒸发式（IEC）。

影响蒸发冷却效果的主要因素是室外湿球温度。蒸发冷却技术应用区域可按照夏季空调室外计算湿球温度划分为干燥地区、中等湿度地区、高湿度地区，不同地区蒸发冷却效率宜按表 2-58 执行。

表 2-58　部分城市分区及蒸发冷却效率

区域划分	湿球温度 t_{ws}（℃）	城市名称	DEC 效率 η_{DEC}（%）	IEC 效率 η_{IEC}（%）
干燥地区	$t_{ws}<23$	拉萨、西宁、乌鲁木齐、昆明、兰州、呼和浩特、银川	85	65
中等湿度地区	$23\leqslant t_{ws}<28$	贵阳、太原、哈尔滨、长春、沈阳、西安、北京、成都、重	80	60

续表

区域划分	湿球温度 t_{ws}（℃）	城市名称	DEC效率 η_{DEC}(%)	IEC效率 η_{IEC}（%）
中等湿度地区	$23 \leq t_{ws} < 28$	庆、济南、天津、石家庄、郑州	80	60
高湿度地区	$t_{ws} \geq 28$	南宁、长沙、广州、上海、福州、杭州、南京、合肥、海口、南昌、武汉	75	55

注 1. 表中湿球温度为夏季空调室外计算湿球温度。
2. 表中直接蒸发冷却效率为推荐值。

根据表2-58中区域，在表2-59中列出国内高适应区干湿球温度。当利用干湿球温差5.8～16.6℃作为动力、蒸发冷却降温效率为0.8时，进风温度可降低4.6～13.3℃。

（一）直接蒸发冷却通风

直接蒸发冷却通风是利用未饱和空气的干球温度和湿球温度差对空气降温的技术，即将显热转变为潜热，达到空气降温的目的。直接蒸发冷却过程如图2-40所示，室外热空气流过被水淋湿的填料，填料上的液态水通过吸收空气的显热而汽化，通过填料的空气被冷却降温，干球温度降低，湿球温度不变，空气的含湿量增加。

表2-59　蒸发冷却高适应区干湿球温度　（℃）

城镇名称	所属省份	干球温度	湿球温度	温差	城镇名称	所属省份	干球温度	湿球温度	温差
玉门镇	甘肃	30.7	18.0	12.7	锡林浩特	内蒙古	31.2	19.9	11.3
丽江	云南	25.5	18.1	7.40	楚雄	云南	27.9	20.0	7.9
乌鲁木齐	新疆	24.6	18.2	6.4	兰州	甘肃	31.3	20.1	11.2
威宁	贵州	33.4	18.3	15.1	盐池	宁夏	31.8	20.2	11.6
巴音毛道	内蒙古	32.8	18.5	14.3	民丰	新疆	35.1	20.4	14.7
固原	宁夏	27.7	19.0	8.7	塔城	新疆	33.5	20.4	13.1
酒泉	甘肃	30.4	19.5	10.9	腾冲	云南	26.3	20.5	5.8
克拉玛依	新疆	36.4	19.8	16.6	海拉尔	内蒙古	29.2	20.5	8.7
昆明	云南	26.3	19.9	6.4	漠河	黑龙江	29.1	20.8	8.3
博克图	内蒙古	27.3	19.9	7.4	会理	四川	28.0	20.9	7.1

在主厂房通风方式中，主要采用直接蒸发冷却方式。直接蒸发冷却通风可降低送风温度，从而大幅度降低通风设备用电量，是一种高效、节能的通风方式。

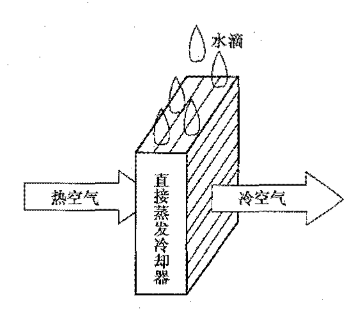


图2-40　直接蒸发冷却过程示意图

1. 直接蒸发冷却过程

直接蒸发冷却过程分为绝热加湿冷却过程和非绝热加湿冷却过程。

（1）绝热加湿冷却过程。蒸发冷却器使用循环水时，喷淋到填料上的水温等于冷却器进风湿球温度，在空气与水的温差作用下，空气传给水的显热量在数值上恰好等于在两者水蒸气分压力差作用下，水蒸发到空气中所需要的汽化潜热，总热交换为零。此过程忽略水蒸发带给空气的水自身原有的液态热（湿球温度×4.185kJ/kg），称为等焓冷却加湿过程或绝热加湿冷却过程，如图2-41所示。

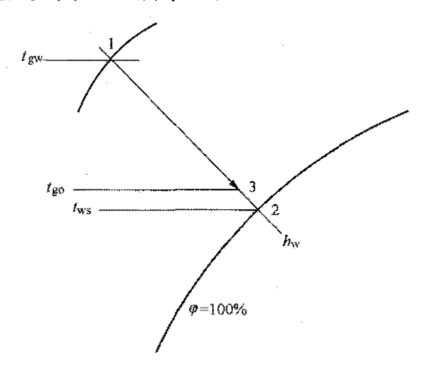


图2-41　等焓冷却加湿过程焓湿图

h_w—空气状态点1的焓，kJ/kg干空气；φ—相对湿度

图2-41中，经过蒸发冷却器的室外空气由状态点1（干球温度为t_{gw}），延等焓线向状态点2（空气湿球温度t_{ws}）移动，因蒸发冷却器效率达不到100%，所以空气只能被冷却到状态点3，即冷却器的空气出口

温度。由于冷却器的冷却效率一般能达到70%～95%，在实际应用中，干空气也不能达到100%饱和。

（2）非绝热加湿冷却过程。当冷却器使用不循环水且喷淋水温度高于空气湿球温度而低于空气干球温度时，空气与外界有热交换，所以冷却过程是非绝热加湿冷却过程，如图2-42所示。空气传给水的显热量在数值上小于两者水蒸气分压力差作用下水蒸发到空气中所需要的汽化潜热，即显热交换量小于潜热交换量，空气焓值增加。

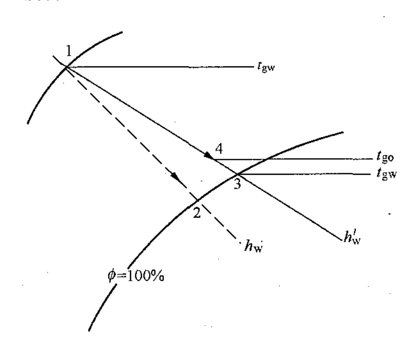


图2-42　非绝热加湿冷却过程图

h'_w—空气状态点3的焓，kJ/kg干空气

图2-42中，状态点2是空气湿球温度，点1→2是绝热加湿冷却过程。当空气由状态点1进入冷却器，冷却过程延1→3线增焓增湿至状态点4，状态点4即是空气的最终状况。

（3）不循环水喷淋与循环水喷淋过程优、缺点。

1）蒸发冷却过程使用不循环水喷淋填料，可以减少设备初投资，不会产生沉淀和滋生细菌，但耗水量大，最重要的一点是对蒸发冷却过程喷淋水温要求严格。喷淋水温必须用等于空气湿球温度的水喷淋填料，冷却过程才是绝热过程，否则一旦水温升高，冷却过程为非绝热过程，冷却效率将下降。

2）蒸发冷却过程使用循环水喷淋填料，对喷淋水的水温要求不高，因为即使水温高于空气湿球温度，但它最终都将达到空气湿球温度，使得冷却过程为绝热加湿过程，所以冷却效率较高，但是必须控制水中溶解矿物质的浓度，以防出现沉淀。同时还需考虑杀菌过滤措施。

2. 直接蒸发冷却过程计算

对于绝热加湿过程，蒸发冷却降温效率计算式为

$$\eta_t = \frac{t_{gw} - t_{go}}{t_{gw} - t_{ws}} \tag{2-59}$$

式中　η_t——蒸发冷却降温效率，%；

t_{gw}——进风空气的干球温度，℃；

t_{go}——出风空气的干球温度，℃；

t_{ws}——空气的湿球温度，℃。

由式（2-59）可得蒸发冷却后出风空气的干球温度为

$$t_{go} = t_{gw} - \eta_t(t_{gw} - t_{ws}) \tag{2-60}$$

蒸发冷却加湿量计算式为

$$G = L(d_s - d_j) \tag{2-61}$$

式中　G——加湿所需水量，kg/h；

L——处理空气量，kg/h；

d_s——出风空气的含湿量，kg/kg干空气；

d_j——进风空气的含湿量，kg/kg干空气。

直接蒸发冷却机组的最大小时耗水量应包括水蒸发损失、风吹损失和排污损失。最大小时耗水量计算式为

$$G_w = 1.1\times\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\times\frac{3600Q_z}{r} \tag{2-62}$$

式中　G_w——耗水量，kg/h；

R——循环水的浓缩倍率，即循环水离子浓度与补水离子浓度的比值，可按2～4取值；

Q_z——直接蒸发冷却机组的制冷量，kW；

r——水的汽化潜热，20℃时取2454kJ/kg；

1.1——风吹损失等安全裕量系数。

对于非绝热加湿冷却过程，用式（2-59）～式（2-61）计算就不准确了。由于它不是在等焓状态下冷却空气，喷淋水的部分焓被空气吸收，这部分焓的影响在理论上是很难准确计算的，但可以估算，本手册不做详细介绍，读者可查阅参考文献［8］。由图2-42可知，对于非绝热加湿冷却过程，空气最终被冷却的温度升高，冷却器冷却效率将下降。在实际工程计算中，由于空气最终被冷却的温升很小，也可忽略不计。

3. 直接蒸发冷却机组

直接蒸发冷却机组主要由过滤器、风机、循环水泵、布水器、填料层及水槽等构成，如图2-43所示。水泵将水从底部的水槽送到顶部的布水器，由布水器均匀地淋在填料上，水在重力的作用下流回水槽。而室外空气通过填料，在蒸发冷却的作用下被冷却，并通过送风格栅直接送入室内。

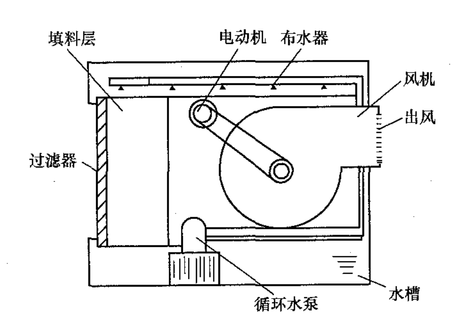


图2-43　直接蒸发冷却机组结构示意图

直接蒸发冷却机组中填料按材质分为有机填料、无机填料、金属填料、天然植物纤维填料、无纺布填料等。天然植物纤维填料及无纺布填料多为自由填充，其他多为规则填充。各种规则填充的填料虽然材质不同，但一般均设计成波纹板交叉重叠的形式，以控制水流与气流间最大的接触表面积。

目前经常使用的几种填料介绍如下：

（1）有机填料由加入特殊化学原料的植物纤维纸浆制成，典型代表是瑞典蒙特（Munters）公司的CELdek填料。CELdek填料设计的特殊波纹角度可控制水与空气交叉流动的方向，并提供水流与气流间最大的接触表面积和较小的流动阻力。$1m^3$ 的 CELdek 填料可吸水 30kg，CELdek 填料热工性能好，价格便宜，其化学成分不会随着水流、气流的作用而分解，具有易清洁、使用寿命较长的良好性能，但它易燃且湿挺度较差。

（2）无机填料是以玻璃纤维为基材，经具有特殊成分的树脂浸泡，再经高温烧结处理的高分子复合材料，如瑞典蒙特（Munters）公司的GLASdek填料。GLASdek填料具有良好的湿挺度，不随水流、气流作用而分解，抗霉、耐腐蚀、阻燃、易清洁、使用寿命长的优点。

（3）金属填料选用很薄的不锈钢板或铝箔作为原料，结构上设计了水与空气交叉流动的结构，阻力小。金属填料吸湿性能远远落后于有机或无机填料，但其耐腐蚀性能优于上述两种填料。

各种填料的性能对比见表2-60。

表2-60　各种填料的性能对比

性能	无机填料	有机填料	金属填料	无纺布填料	天然植物纤维填料
填充方式	规则	规则	规则	自由	自由
比表面积	较大	较大	较大	大	大
吸湿性	好	好	较差	好	好
阻力	小	小	小	大	大
热工性能	好	好	较差	好	较好
除尘性能	好	好	较好	较好	较好
物理性能	好	较好	好	差	差
防腐性能	好	较好	好	较好	较好
阻燃性能	好	差	好	差	差

4. 直接蒸发冷却通风系统控制

直接蒸发冷却通风系统宜对以下参数进行检测：

（1）蒸发冷却机组的运行状态。

（2）排风设备的运行状态。

（3）空气过滤器的压差。

（4）室外新风、机组送风、室内排风的温度及相对湿度。

（5）工作区温度。

（6）风机、水泵运行状态。

（7）补水装置运行状态、补水量。

5. 直接蒸发冷却机组性能参数

直接蒸发冷却机组性能参数见表2-61。

表2-61　直接蒸发冷却机组性能参数

序号	风量（m^3/h）	余压（Pa）	耗电量（kW）	主要尺寸（mm）		
				长	宽	高
1	10000	230	2.2	3000	900	1200
2	20000	350	5.5	3200	1500	1200
3	30000	350	5.5	3600	1500	1800
4	40000	400	11	4200	1800	2100
5	60000	500	15	4400	2100	2400
6	80000	600	22	4600	2400	2700
7	120000	800	55	5000	3100	3900
8	160000	1200	75	6000	3700	4300
9	200000	1900	160	6800	4100	4300

（二）间接蒸发冷却通风

1. 间接蒸发冷却过程及计算

在某些情况下，当对被处理的空气有进一步的要求，如要求较低含湿量或焓时，就需要采用间接蒸发冷却技术。间接蒸发冷却技术与直接蒸发冷却技术不同的是它不增加被处理空气的相对湿度。间接蒸发冷却基本原理如图2-44所示。

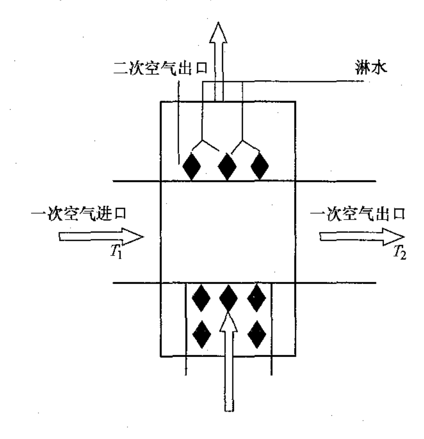


图2-44　间接蒸发冷却基本原理图

间接蒸发冷却是通过一次空气（被冷却的空气）和二次空气（一般采用新风经直接蒸发冷却处理）在间接蒸发冷却器中进行间接热交换，使一次空气达到所需要的空气状态点。图2-45表示间接蒸发冷却过程中一次空气由 C 点冷却降温至 C_1 和二次空气经直接

蒸发冷却由 W 点至 W_s'' 的变化状态。

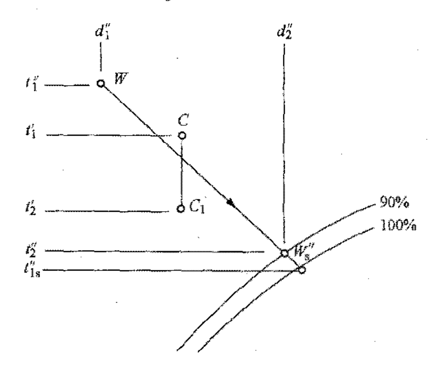


图 2-45 间接蒸发冷却过程中一次空气和二次空气的变化状态图

一般情况下一次空气侧传热壁面的温度均高于一次空气的露点温度，因此该传热过程导致一次空气温度下降，含湿量不变，即减焓等湿降温的过程。二次空气侧的换热过程不取决于二次空气温度和淋水温度的高低，而是二次空气的焓与淋水温度下饱和空气的焓的大小，即使淋水温度高于二次空气温度，只要淋水温度下饱和空气的焓大于二次空气的焓，就可以实现热量由水膜传给二次空气。二次空气侧发生热、质交换的结果是水蒸发吸热，二次空气的相对湿度增加、温度降低。

间接蒸发冷却热交换效率一般在 55%～65%之间，间接蒸发冷却的热交换效率 η_{IEC} 表达式为

$$\eta_{IEC}=(t_1'-t_2')/(t_1'-t_{1s}'') \tag{2-63}$$

式中 t_1' ——一次空气入口干球温度，℃；

t_2' ——一次空气出口干球温度，℃；

t_{1s}'' ——二次空气入口湿球温度，℃。

一次空气经间接蒸发冷却器冷却后，由 C 点变化至 C_1 点。二次空气从 W 点，经间接蒸发冷却器后，空气从 W 点变化至 W_s'' 点。当一次空气的风量 L' 为定值（由通风或空气调节区域负荷决定），室内外设计条件确定后，t_{1s}'' 是定值，t_1' 根据通风或空气调节区域的设计情况也是定值，此时一次空气的 t_2' 值就取决于间接蒸发冷却的热交换效率 η_{IEC}。

（1）一次空气的冷量。一般情况下，η_{IEC} 值可根据表 2-58，按工程所处地区确定，然后根据式（2-63）计算出 t_2' 值，即

$$t_2'=t_1'-\eta_{IEC}(t_1'-t_{1s}'') \tag{2-64}$$

t_2' 确定后，可在焓湿图中查出对应的焓值，这样，一次空气的冷量计算式为

$$Q=L'c_p(t_1'-t_2')/3.6 \tag{2-65}$$

式中 Q ——一次空气的冷量，W；

c_p ——空气比定压热容，取 1.01kJ/（kg・℃）。

（2）二次空气的风量。应根据二次空气的风量与一次空气的风量的比值计算确定二次空气的风量。二次空气的风量与一次空气的风量的比值宜取 0.6～0.8。对于管式间接蒸发冷却器，二次空气的风量与一次空气的风量比建议取值范围见表 2-62。

表 2-62 二次空气的风量与一次空气的风量比

地区	干燥地区	中等湿度地区	高等湿度地区
二次空气的风量与一次空气的风量比	0.5～0.75	0.75～1.0	1.0～1.2

（3）二次空气的喷水量。间接蒸发冷却，二次空气的喷水量计算式为

$$G''=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\left(0.74+\frac{A_r}{\eta_{IEC}}\right)\frac{3600Q_z}{r} \tag{2-66}$$

式中 G ——二次空气的喷水量，kg/h；

A_r ——间接蒸发二次空气的风量与一次空气的风量比，可按表 2-62 取值；

Q_z ——蒸发冷却机组的制冷量，kW；

η_{IEC} ——间接蒸发冷却效率，可按表 2-58 取值；

r ——水的汽化潜热，20℃时取 2454kJ/kg。

2. 间接蒸发冷却机组

间接蒸发冷却器主要有板翅式、管式和热管式三种：

（1）板翅式间接蒸发冷却器。其是目前应用最多的间接蒸发冷却器，换热器所采用的材料为金属薄板（铝箔）和高分子材料（塑料等）。

（2）管式间接蒸发冷却器。管子断面形状有圆形和椭圆形（异形管）两种。所采用的材料有聚氯（苯）乙烯等高分子材料和铝箔等金属材料。管外包覆有吸水性纤维材料，使管外侧保持一定的水分，以增强蒸发冷却的效果。

（3）热管式间接蒸发冷却器。其核心是热管换热器，与一般的热管换热器不同的是：一次空气通过热管换热器的蒸发段被冷却，冷凝段散发的热量由直接淋在冷凝段的水和二次空气带走。

（三）直接蒸发设计举例

【例 2-2】 已知：室外通风计算温度（即干球温度）t_{gw}=47.6℃，湿球温度 t_{sw}=30℃，相对湿度 φ=28.7%，含湿量 d_j=20.4g/kg 干空气；400MW 机组汽机房，设备散热量为 2.2MW，填料为无机高分子材料，厚度为 195mm，空气流速为 3.0m/h，降温效率为 0.9。

试求送风温度及其他送风参数、耗水量。

解 空气处理过程焓湿图如图 2-41 所示。

送风温度 $t_{go}=t_{gw}-(t_{gw}-t_{ws})\eta_t=47.6-(47.6-30)\times0.9=47.6-15.8=31.8$（℃）。

由图 2-41 可查得送风主要参数：相对湿度 φ=

87.3%，含湿量 d_s=26.9g/kg 干空气。

由送排风温差 20℃，可得通风换气量 $L^t=\dfrac{3.6\times10^6 Q_{re}^t}{c(t_p^t-t_j^t)}=\dfrac{3.6\times10^6\times2.2}{1.01\times20}=3.92\times10^5$ （kg/h）=3.56×10^5 （m³/h）。

耗水量 $G_w=L^t(d_s-d_j)=3.92\times10^5\times(26.9-20.4)=2548(\text{kg/h})$。

八、主厂房通风设计注意事项

主厂房通风设计常见问题见表 2-63。

表 2-63　　主厂房通风设计常见问题

涉及专业	问　　题
建筑结构	（1）在施工图阶段，不考虑进风窗的开启面积、方式、形式、位置等，导致由建筑专业随意决定。 （2）没有考虑进风窗的开窗平台等设施，对施工及运行维护造成不便。 （3）漏提交排风装置的孔洞、荷载资料
电气	（1）漏提交进风装置、排风装置的电动机资料、控制方式等。 （2）提交电气资料时往往不重视机电一体化的问题，造成电气专业重复出控制箱图
机务	（1）机械进风装置、送风道位置及走向没有和工艺专业配合。 （2）排风装置的位置没跟工艺配合，造成排风装置与工艺排汽管碰撞
暖通	进、排风口设置过多、过大，导致冬季冷风渗透量大，从而增加供暖负荷

主厂房通风设计需注意以下事项：

（1）在施工图设计阶段应复核在初步设计阶段估算的自然通风开窗面积、进排风位置、进排风口形式、进排风口开启方式等是否符合设计要求，并在施工图阶段把主厂房各层开窗面积、形式、位置以及各层隔栅面积和位置等重新提供给建筑专业以形成良好的通风气流组织。对于寒冷地区和严寒地区的火力发电厂，在设计汽机房、锅炉房的进排风口面积、位置、形式、开启方式时，不仅要考虑夏季通风问题，而且还要充分考虑其对主厂房内冬季供暖的影响。在满足自然通风所需要的进风面积的前提下，主厂房应尽量做到少开窗，尤其是汽机房和锅炉房底层，不应设有大面积玻璃窗。

（2）主厂房如采用自然通风方式，屋顶通风器所承受的风荷载需由厂家根据主厂房高度、室外风速和通风器的外形来确定。

（3）氢冷发电机组的汽机房，采用屋顶通风机机械排风时，在发电机组上方屋面的最高点应设置独立的自然排氢风帽，筒体直径应不小于 300mm，并且每台机组不少于 4 个。

（4）厂家样本中屋顶通风机和轴流通风机类通风设备的参数是在未考虑外接设备及管道的情况下给出的。在选择此类通风设备时，应根据外接设备及管道的情况，按风机性能曲线来选取。

（5）对于前煤仓（内煤仓）的主厂房，当利用高侧窗作为汽机房排风口时，必须采取措施，避免煤仓间的粉尘倒灌进汽机房和其他房间内。

（6）对于寒冷地区、严寒地区的火力发电厂锅炉房紧身封闭层的进风窗应采取保温防漏雨的措施。

（7）锅炉房及汽机房内侧通风死角的地方可以设置移动式直接蒸发降温机组或诱导风机。

第四节　主厂房区域真空清扫

一、真空清扫系统简介

火力发电厂的锅炉及其辅机、烟煤风道等在运行过程中会产生粉尘、灰尘及其他物料的泄漏，并扩散、飞落在各层楼板、平台、设备、风道、汽水管道、墙壁上。原煤在输送过程中散发粉尘及煤粉颗粒，也会落到栈桥、转运站、碎煤机室、煤仓间等建筑的各层地面、楼板、设备、管道上。真空清扫系统是清扫这些粉尘及其他物料积尘的一种比较理想的形式。

所谓真空清扫系统，是利用真空抽吸原理，将散落在地面、楼板、设备及管道上的粉尘及其他物料收集起来，再进行转移处理的系统。该系统由吸料嘴、抽吸管道系统、旋风分离器、袋式过滤器、真空泵及其他阀门控制设备等组成。

二、真空清扫设计范围及参数确定

（一）设计范围

燃煤锅炉房宜设置真空清扫系统，该系统兼管煤仓间不宜水冲洗部位的积尘清扫。主厂房真空清扫系统主要用于锅炉房各层楼板、地面、各层平台、设备及其管道风道表面的吸尘，并兼管煤仓间楼板、设备及其管道表面的吸尘。

（二）参数确定

1. 设备选择

电厂中常用的真空清扫设备包括固定式、半移动式、轻便式、拖曳式、吸尘车等。单机容量为 300MW 级及以下时，宜 2 台锅炉配置 1 台移动式或固定式设备；单机容量为 600MW 级及以上时，宜 2 台锅炉配置 1 台移动式或每台锅炉配置 1 台固定式设备；当锅炉采用湿式除渣方式时，宜选择固定式设备。

影响真空清扫设备选择的因素有很多，但主要是真空度、风量、真空清扫设备形式等几项。根据目前电厂的运行经验，真空度在 30kPa 以上即可满足要求。

选择负压吸尘装置时，需明确如下条件：

（1）电厂所在海拔。

（2）吸料的松堆密度、粒度、流动性、干湿程度及其他物理性质。

（3）真空清扫装置的容量。其可以根据最远处吸尘点所需抽吸能力确定。

（4）卸料方式。如料斗轮换卸料、底部卸料斗卸料、间断卸料或连续卸料等。

（5）吸嘴吸口总数及同时运行的吸嘴个数。吸嘴吸口总数可按以下原则确定；同层相邻的两个吸尘口的最大间距不宜超过 30m；吸尘软管的作业半径宜按 10～15m 选取，软管长度不宜超过 20m。DN50 的管道一般带 1 个吸嘴，DN80 的管道可带两个软管吸嘴，DN100 的管道可按带 4 个软管吸嘴考虑，同时运行的吸嘴个数可按同时工作 2～3 个吸嘴来设计。

（6）吸管内的空气流速可按 20～40m/s 估算。

（7）设备安装地点及工作地点等。

2. 设备风量计算

（1）吸料管内的空气流速。其计算式为

$$v=\sqrt{\rho_{b}} \tag{2-67}$$

式中 v——管内空气流速，m/s；

ρ_b——物料松散密度，对于火力发电厂，可取 550～650kg/m^3。

物料最小输送速度和最大输送速度计算式分别为

$$v_{min}=0.75v \tag{2-68}$$

$$v_{max}=1.75v \tag{2-69}$$

（2）风量计算。每个吸嘴的风量可按 150～300m^3/h 计算。软管直径一般选择为 DN50、DN65、DN80，不能超过 DN100，这样机组总的空气量按 300～2000m^3/h 计算。为满足所要求的输送流速，管内的风量计算式为

$$L=3600Av \tag{2-70}$$

式中 L——管内空气流量，m^3/s；

A——管道横截面积，m^2。

设备的总流量可根据同时运行的吸尘嘴数量来确定，即

$$L_{TO}=1.2NL_{EA} \tag{2-71}$$

式中 L_{TO}——设备的总流量，m^3/s；

N——同时工作的吸尘嘴数量；

L_{EA}——每个吸尘嘴的吸风量，m^3/s。

三、真空清扫系统管路压力损失

（一）真空清扫管道内物料流动的特点

物料在管道中流动是很复杂的，其流动状态除了与被抽吸物料的物理性质、几何形状、尺寸有关之外，还与气流的速度和浓度有关。在垂直管中，气流阻力与颗粒群重力方向处于同一直线上，两者只在流动方向上对物料发生作用。但在实际垂直管中，颗粒群的运动还会受到垂直于运动方向的力。因此，物料就会形成不规则的相互交错的蛇形运动，使物料在管内的运动状态形成了均匀分布的“定常流”。

在水平管中，一般气流速度越大，物料越接近于均匀分布。但当气流速度不足时，流动状态就会有明显的变化。在起始段管底流大致均匀，越到后段就越接近疏密流，最后终于形成脉动流或停止流。水平管越长，这一现象越明显。若将流速降低到一定限度，则伴有明显的脉动，在弯头处产生周期性的强烈冲击压力。水平管中运动状态分为：

（1）均匀流。气流速度大，物料颗粒基本上接近于均匀分布状态，物料在气流中呈悬浮状态。

（2）管底流。当气流速度减小时，物料将接近管底，分布较密，但尚没有出现停滞，一边作不规则的滚动、碰撞，一边被输送。

（3）疏密流。当气流速度小于某一数值时，物料在水平管中呈现疏密不均匀的流动状态，部分颗粒在管底滑动，但没有停滞。

（4）停滞流。随着气流速度进一步减小，大部分颗粒失去悬浮能力而停滞在管底，导致局部区段因物料积聚而使管内断面变小，气流速度在该区段增大，此时又将停滞的物料吹走，物料就这样停滞、积聚、吹走，互相交替，形成不稳定的输送状态。

（5）部分流。当气流速度过小时，物料颗粒就会堆积在管底，气流将在堆粒的上部流动，物料层上部的物料颗粒在气流的作用下，将作不规则的移动，堆积层将随着运行时间像沙丘移动似地向前流动。物料在管内最大流速的位置在管道中心线以上。由于物料在输送过程中受到重力的影响，越接近管底物料分布越密；并且，越靠近管底，空气阻力越大，气流速度越小。在管底处由于气流速度小，导致粒子速度也减小，常常会出现因物料的停滞而将管路堵塞。因此，要保证输送速度，使之不致造成堵塞，保证正常输送。

（二）物料悬浮速度和物料速度

1. 物料悬浮速度

在管内气流速度应比物料悬浮速度要大得多，如气流速度过高，会造成物料的破碎、管件的摩擦损失和动力消耗大等弊病；如气流速度过低，则容易引起掉料、管道堵塞，影响正常吸尘工作。因此，气流速度应符合表 2-64 所示的推荐流速。

由表 2-64 可知，物料在管内的推荐气流速度一般为物料悬浮速度的 2.4～4.0 倍。

表 2-64　　物料在管内的推荐气流速度及物料悬浮速度　　(m/s)

物料名称	煤粉	煤块	砂	水泥	飞土	石灰	矿渣	黏土粉	铸铁屑
气流速度	20～30	18～40	25～35	10-25	15～25	26～30	27～30	16～18	19～23
物料悬浮速度	7	10～11	8～12	0.223～0.513			10～20	1.8～2.1	

2. 物料速度

物料速度是指管道中颗粒群的最大速度。管道内的颗粒在气流的推动下开始运动，随着时间的增长而速度上升。当颗粒群速度达到一定程度，作用于颗粒群上的推力与各种阻力平衡时，颗粒群就以一个相对稳定的速度进行等速运动，这个速度就是物料速度，一般小于输送速度（即气流速度）。物料速度和输送速度之比称为速比。速比理论计算比较烦琐，可按经验式（2-72）计算，即

$$\frac{v_m}{v} = 0.9 - \frac{7.5}{v} \qquad (2\text{-}72)$$

式中　v_m ——物料速度，m/s；

v ——输送速度，m/s。

（三）物料输送管道水力计算

1. 物料输送管道水力计算的假定条件

物料输送管道的水力计算依据如下计算条件：把物料当作一种特殊流体，它服从于纯流体管道阻力计算的达西公式；管中空气与管壁的摩擦损失和纯空气在管内流动时的情况一样；忽略由于物料颗粒的存在导致管道断面面积的减小。物料管中总的摩擦损失是由纯空气流动的压力损失，加上颗粒体所引起的附加压力损失组成的。

2. 物料输送管道阻力计算

（1）管内摩擦压力损失。其计算式为

$$\Delta p_f = \sum R(1 + K_m\mu) lC = \sum RalC \qquad (2\text{-}73)$$

对于水平管　$$a = \sqrt{\frac{30}{v}} + 0.2\mu \qquad (2\text{-}74)$$

对于垂直管　$$a = \frac{250}{v^{1.5}} + 0.15\mu \qquad (2\text{-}75)$$

式中　Δp_f ——通过管道的摩擦压力损失，Pa。

R ——管道单位摩阻，Pa/m，可按表 2-65 取值。

K_m ——摩擦压力损失附加系数，可按表2-66 取值。

μ ——料气比，也称为料气流浓度，是单位时间内通过输料管内的物料量与空气量的比值，根据经验，一般低压吸送式系统μ=1～4，高真空吸送式系统μ=20～70。物料流动性好，管道平直，喉管阻力小，可采用较高料气比。

l ——管道长度，m。

C ——管道及其部件附加系数，钢管 C=1，软管 C=1.5。

a ——压力损失比。

表 2-65　　高速风管水力计算表　　(Pa/m)

风速 (m/s)	管径（mm）										
	DN50	DN65	DN80	DN90	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350
15	106 73.8	179 53.3	271 41.3	343 35.8	424 31.4	662 24	954 19.2	1696 13.6	2649 10.4	3815 8.3	5193 6.9
16	113 83.3	191 60.3	289 46.7	366 40.4	452 35.5	707 27.1	1017 21.7	1809 15.3	2826 11.7	4069 9.4	5539 7.8
17	120 93.4	203 67.5	308 52.3	389 45.3	480 39.8	751 30.4	1081 24.3	1922 17.2	3003 13.1	4324 10.6	5885 8.8
18	127 104	215 75.2	326 58.3	412 50.5	509 44.4	795 33.8	1145 27.1	2035 19.2	3179 14.7	4578 11.8	6231 9.8
19	134 115.1	227 83.3	344 64.5	435 55.9	537 49.1	838 37.5	1208 30	2148 21.2	3356 16.2	4833 13	6578 10.9
20	141 126.8	239 91.7	362 71.1	458 61.6	565 54.1	883 41.3	1272 33.1	2261 23.4	3533 17.9	5087 14.4	6924 12
21	148 139	251 100.6	380 78	481 67.5	594 59.4	927 45.3	1335 36.3	2374 25.4	3886 21.5	5341 15.8	7270 13.1
22	155 151.7	263 110	398 85.1	504 73.7	622 64.8	972 49.4	1399 39.7	2487 28.0	4062 23.3	5596 17.3	7616 14.4
23	163 165	275 119.4	416 92.6	527 80.2	650 70.5	1016 53.8	1463 43.1	2600 30.5	4239 25.3	5850 18.8	7962 15.6

续表

风速（m/s）	管径（mm）										
	DN50	DN65	DN80	DN90	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350
24	170 178.7	287 129.4	434 100.3	549 86.9	678 76.4	1060 58.3	1526 46.8	2713 33.1	4416 27.3	6104 20.4	8308 16.9
25	177 193	299 139.7	452 108.4	572 93.9	707 82.6	1104 63	1590 50.5	2826 35.7	4592 29.5	6359 22	8655 18.3
26	184 207.7	310 150.5	470 116.7	595 101.1	735 88.9	1148 67.8	1653 54.4	2939 38.5	4592 29.5	6613 23.7	9001 19.7
27	191 223	322 161.6	488 125.3	618 108.6	763 95.5	1192 72.9	1717 58.5	3052 41.4	4769 31.7	6867 25.5	9347 21.2
28	198 239	334 173	507 134.3	641 116.3	791 102.3	1236 78.1	1780 62.7	3165 44.3	4946 33.9	7122 27.3	9693 22.7
29	205 255.2	346 185	525 143.5	667 124.3	820 109.4	1281 83.4	1844 67	3278 47.4	5122 36.3	7376 29.2	10039 24.3
30	212 272	358 197.1	543 153	687 132.5	848 116.6	1325 89	1908 71.41	3391 50.5	5299 38.7	7630 31.1	10386 25.9
31	220 289.4	370 209.7	561 162.7	710 141	876 124.1	1369 94.7	1971 76	3504 53.8	5475 41.2	7885 33.1	10732 27.6
32	226 307.2	382 222.7	579 172.8	733 149.7	904 131.8	1413 100.6	2035 80.7	3617 57.1	5652 43.7	8139 35.2	11078 29.3
33	233 325.6	394 236	597 183.2	755 158.7	933 139.7	1457 106.6	2098 85.6	3730 60.6	5829 46.4	8393 37.3	11424 31.1
34	240 344.4	406 249.7	615 193.8	778 167.9	961 147.8	1501 112.8	2162 90.6	3843 64.1	6005 49.1	8648 39.5	11770 32.9
35	247 363.7	418 263.7	633 204.7	801 177.4	989 156.1	1546 119.2	2226 95.7	3956 67.7	6182 51.9	8902 41.7	12117 34.8
36	254 383.6	430 278	651 216	824 187.1	1017 164.7	1590 125.7	2289 100.9	4069 71.5	6359 54.7	9156 44	12463 36.7
37	261 404	442 292.7	669 227.4	847 197.1	1046 173.5	1634 132.4	2353 106.3	4183 75.3	6535 57.7	9410 46.4	12809 38.6
38	269 424.8	454 308	687 239.2	870 207.3	1073 182.4	1678 139.3	2416 111.8	4296 79.2	6712 60.7	9665 48.8	13155 40.7
39	276 446.1	466 323.5	705 251.2	893 217.7	1102 191.6	1722 146.3	2480 117.5	4409 83.2	6888 63.7	9919 51.3	13501 42.7
40	283 467.9	478 339.4	724 263.6	916 238.4	1130 201	1766 153.5	2543 123.3	4522 87.3	7065 66.9	10174 53.8	13847 44.8
41	290 490.2	490 355.6	742 276.2	939 239.4	1159 210.7	1810 160.9	2607 129.2	4635 91.5	7242 70.1	10428 56.4	14194 47
42	297 513	502 372.2	760 289	961 250.5	1187 220.5	1854 168.4	2671 135.3	4748 95.8	7418 73.4	10682 59.1	14540 49.2
43	304 536.3	513 389.1	778 302.2	984 262	1215 230.6	1899 176.1	2734 141.4	4861 100.2	7595 76.8	10936 61.8	14886 51.5
44	310 560.1	525 406.4	796 315.6	1007 274	1244 240.8	1943 184	2798 147.7	4974 104.7	7772 80.2	11191 64.6	15232 53.8
45	318 584.4	537 424	814 329.4	1030 285.5	1272 251.3	1987 192	2861 154.2	5087 109.2	7948 83.7	11445 67.4	15578 56.1

注 表中数据上行为风量 L（m^3/h），下行为管道单位摩阻 R（Pa/m）。

表 2-66　　摩擦压力损失附加系数

物料种类	细粒状物料	粒状物料	粉状物料	纤维状物料
气流速度 v（m/s）	25～35	16～25	16～22	15～18
μ	3～5	3～8	1～4	0.1～0.6
K_m	0.5～1.0	0.5～0.7	0.5～1.5	1.0～2.0

（2）空气和物料的加速阻力。空气和物料由吸嘴进入输料管后，从初速为零加速到最大速度，消耗了能量，增加了阻力，最终达到平衡。加速阻力损失只在吸入段计算，其阻力损失计算式为

$$\Delta p_{sp}=(1+\mu b)\frac{v^2\rho}{2} \tag{2-76}$$

$$b=\left(\frac{v_m}{v}\right)^2 \tag{2-77}$$

式中　Δp_{sp}——加速阻力损失，Pa；

b——系数；

ρ——空气密度，kg/m^3。

（3）物料的悬浮阻力。使输料管内的物料处于悬浮状态所引起的阻力称为悬浮阻力。悬浮阻力只在水平管和倾斜管中计算，其阻力损失计算式为

$$\Delta p_{fl}=\mu\rho gl\frac{v_{fl}}{v_m}\cos\alpha \tag{2-78}$$

式中　Δp_{fl}——物料的悬浮阻力损失，Pa；

l——管道长度，m；

v_{fl}——悬浮流速，m/s；

α——管道与水平的夹角，(°)。

（4）弯头阻力损失。其计算式为

$$\Delta p_b=\frac{(1+K_b\mu)\zeta_b v^2\rho}{2} \tag{2-79}$$

式中　Δp_b——弯头阻力损失，Pa；

K_b——弯头阻力的附加系数，可按表 2-67 取值；

ζ_b——弯头空气阻力系数。

弯头阻力的附加系数 K_b 跟物料的性质、弯头曲角、曲率半径和空间布置形式有关。经过实验得出的弯头阻力的附加系数 K_b 见表 2-67。

表 2-67　　弯头阻力的附加系数 K_b

弯头布置形式	K_b
垂直向下转向水平 90°	1.0
垂直向上转向水平 90°	1.6
水平转向水平 90°	1.5
水平转向垂直向上 90°（粉状物料）	0.7
水平转向垂直向上 90°	2.2

90°弯头局部阻力系数如表 2-68 所示。

表 2-68　　90°弯头局部阻力系数 ζ_b^{90}

R=2D	R=2.5D	R=3D	R=6D	R>10D
0.15	0.13	0.12	0.083	0.066

注　R 为弯头的曲率半径，mm；D 为管段的直径，mm。

对于非 90°弯头阻力系数，其计算式为

$$\zeta_b=\frac{\zeta_b^{90}\beta}{90} \tag{2-80}$$

式中　ζ_b——非 90°弯头的阻力系数；

ζ_b^{90}——90°弯头的阻力系数；

β——非 90°弯头的角度，rad。

（5）吸嘴阻力损失。其计算式为

$$\Delta p_s=(C_s+\mu)\frac{v^2\rho}{2} \tag{2-81}$$

式中　Δp_s——吸嘴阻力损失，Δp_s=2.0×10^3～6.0×10^{3}Pa；

C_s——与吸嘴构造有关的系数，C_s=3～5。

（6）总的压力损失计算式为

$$\Delta p=1.2(\Delta p_f+\Delta p_{sp}+\Delta p_{fl}+\Delta p_b+\Delta p_s) \tag{2-82}$$

式中　Δp——总的压力损失，Pa。

（四）物料输送管道水力计算要点

（1）空气通过各管段的流速不得超过允许最大流速，也不得低于允许最小流速。

（2）空气通过各管段总的阻力损失不得超过设备总的真空度。

（3）通过管道系统的空气量不得超过吸送设备能力所及的流量范围。

（4）不要在垂直管道的支管段上改变物料吸送管道管径。

（5）当垂直管道的流向是向下时应注意如下问题：

1）将计算的垂直管道管径放大 1～2 号，则可以消除这段垂直管道带来的摩擦损失，在计算中可以忽略不计。

2）将紧挨垂直管道顶端的所有管件管径放大 1～2 号，则可以消除这些管件带来的摩擦损失，在计算中可忽略不计。

3）在垂直管段的底部，尚未进入任何管件之前，将管件的管径恢复到原先的计算值。

（6）当垂直管段的流向是向上时应注意如下的问题：

1）用计算的管径作为紧接垂直管道的水平管道的管径，以避免水平管道上流速变小而导致积灰。

2）在垂直管道和垂直管道之间，必须采用与垂直管道管径相同的、长度不小于 6m 的水平管道

连接。

3）垂直管道顶部的管件和邻近该管件至少有 3m 长的水平管道，必须保持与垂直管道一样的管径。

（五）真空清扫设备在高海拔地区变工况特性

在选择真空负压吸尘装置时，样本上给出的性能参数是在标准大气压力 1013hPa 下的参数，温度变化可忽略不计。当使用条件改变时，特别是海拔发生变化，其性能应按式（2-83）～式（2-85）进行换算，按换算后的性能参数选择设备。

体积流量 $$L=L_0 \tag{2-83}$$

真空度 $$p_b-p=(p_{b0}-p_0)\cdot\frac{p_b}{p_{b0}} \tag{2-84}$$

电动机功率 $$P=P_0\cdot\frac{p_b}{p_{b0}} \tag{2-85}$$

式中 L_0、p_0、P_0、p_{b0}——标准状态或性能表中的风量、真空度、功率、大气压力，m^3/h、hPa、kW、hPa；

L、p、P、p_b——实际工作条件下的风量、真空度、功率、大气压力，m^3/h、hPa、kW、hPa。

四、真空清扫系统管路水力计算设计举例

在实际工程中，可参考图 2-46 惠万（Hi-Vac）设备输送距离图进行真空清扫系统管径选择。下面例题将介绍图 2-46 在真空清扫系统管径选择中的应用。

【例 2-3】 已知设计条件：在 660MW 机组锅炉房中选用固定式真空清扫装置，同时运行吸嘴 3 个，真空清扫系统如图 2-47 所示，物料输送水平管段最远点距离 92m。

确定真空清扫设备规格和真空清扫系统管径。

解 1. 风量计算

每个吸嘴风量为 $200m^3/h$，则总吸风量为 $3\times200\times1.2=720$（m^3/h）

2. 设备选择

（1）主机设备选型。输送物料为煤灰，根据抽吸最远处吸尘点的距离和吸风量，可参照设备参数表选用 HV-840 型，其风量为 $1698m^3/h$，输送距离为 53～122m，设备功率为 30kW，真空度为 54kPa。在图 2-46 中左侧，对应输送介质煤灰，在满足输送距离的情况下，设备功率为 40hp（29kW），最远吸尘点处的管径为 DN65（2.5in）。

（2）根据图 2-46 确定吸尘软管选用 DN65，长度为 15m。

（3）管网设计。合理的管网设计，可以减少管道阻力损失，从而达到清扫效果。以最远环路为例，确定管网管径。管网系统见图 2-47，根据图 2-46 中右上角的第二个框（各种直径软管/钢管对应的使用长度），最远端吸尘管选用 DN65（2.5in），DN65 对应使用长度为 15m；粉尘在①号垂直立管内主要靠重力下落，因此可不用变径，仍选用 DN65（2.5in）；②号需要增大管径至 DN80，根据图 2-46，DN80（3in）使用长度 15m，而②号管总长度 28m，因此②号和③号管段选用 DN90（3.5in）；以此类推，④号和⑤号管道管径可分别定为 DN100 和 DN125，详见图 2-47。根据设备参数表可知设备接口管径为 DN100（4in），⑤号管段与设备可由大小头实现变径连接。

选定管径后可根据式（2-82）对最远环路进行阻力校核计算。如选择真空清扫装置的真空度满足最远环路总压力损失，则设备选择合理。

五、真空清扫动力装置

（一）固定类真空清扫装置

固定类真空清扫装置由真空动力系统、料斗、过滤系统、电气控制系统等组成。真空动力系统配以不同形式的其他部件，可以组成固定式、拖曳式、半移动式等多种形式的真空清扫装置。电气控制系统中的可编程序控制器可以实现对整个设备运行状态进行监控和保护。固定类真空清扫装置配合合理设计的管网系统就可以为整套装置完成“集中式”的输送和清理工作。

1. 固定式真空清扫装置

固定式真空清扫装置由动力头、固定式料斗、过滤系统、控制装置和工作平台组成，采用带地脚的安全操作平台，使设备更为稳固，其外形如图 2-48 所示。动力头配合底卸式料斗，将收集的物料向下排放，再采用车辆、皮带机或其他方式将物料运走，也可以直接排入料仓。配合管网系统在特定区域、装置或者建筑物上进行吸料作业。当电厂中采用固定式真空清扫装置时，因真空清扫管网系统比较庞大，必须保证各个吸口的防尘塞封闭严密，以防系统存在漏点。

固定式真空清扫装置采用定容罗茨真空泵，由电动机驱动。料斗有 0.84、$1.4m^3$ 和 $2.1m^3$ 三种标准形式。料斗底部安装手动或气动插板阀，底部卸料。料斗底部安装自动锁气阀可实现连续卸料。在过滤系统中，物料与气流通过主机两级过滤系统进行完全过滤，干净气体通过消声器排入到大气中。湿与干的物料和空气为同一通道。物料收集在主机料斗内，动力头内安装有料位计，料斗满后主机自动停机。卸料时，开启料斗底部阀门。过滤袋室安装 2～4 个过滤筒，每个过滤筒过滤面积 $3m^2$。当产生真空时，过滤筒的清理是借助于连续脉冲压缩空气进行

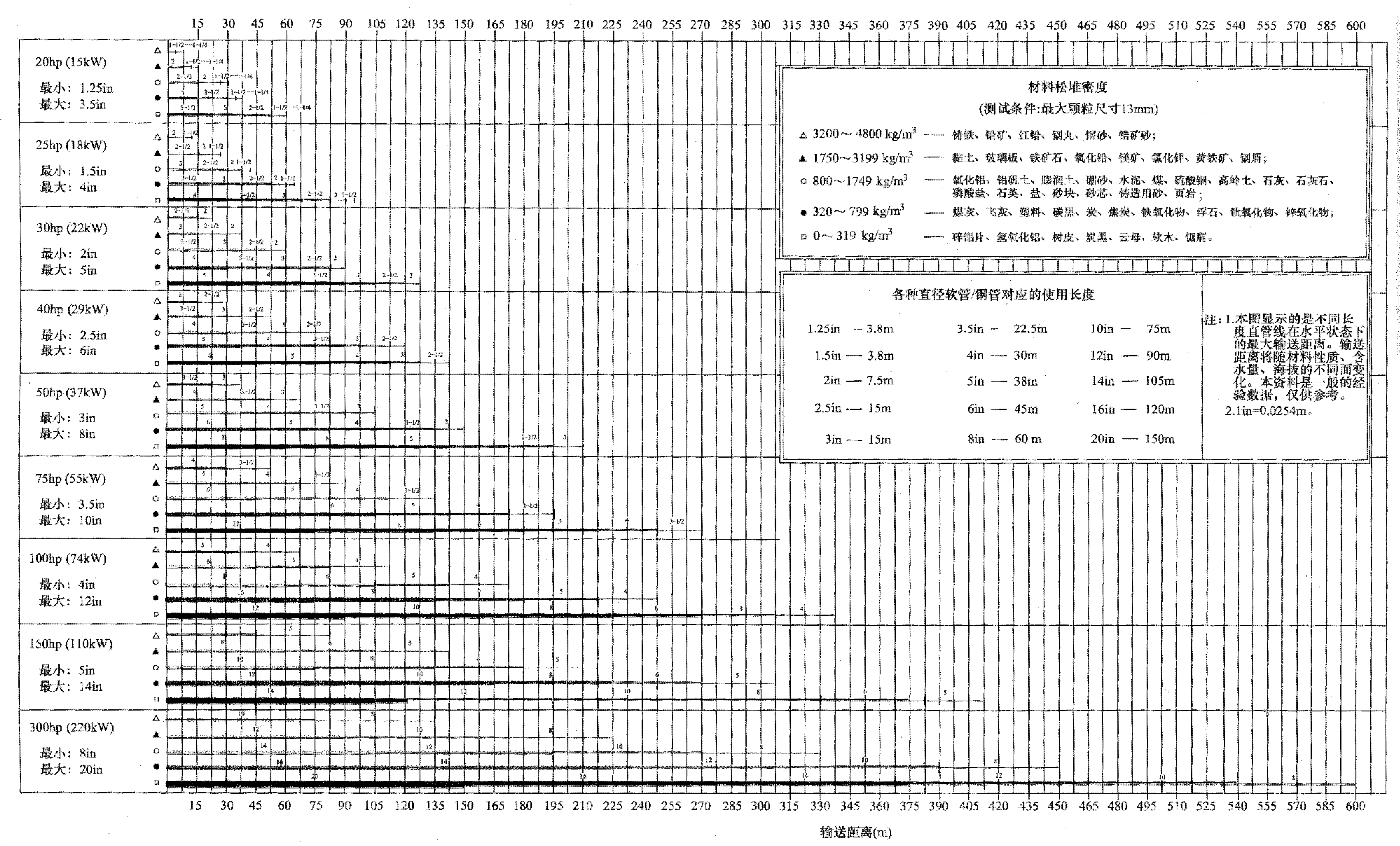


图 2-46 惠万（Hi-Vac）设备输送距离图（估算表）

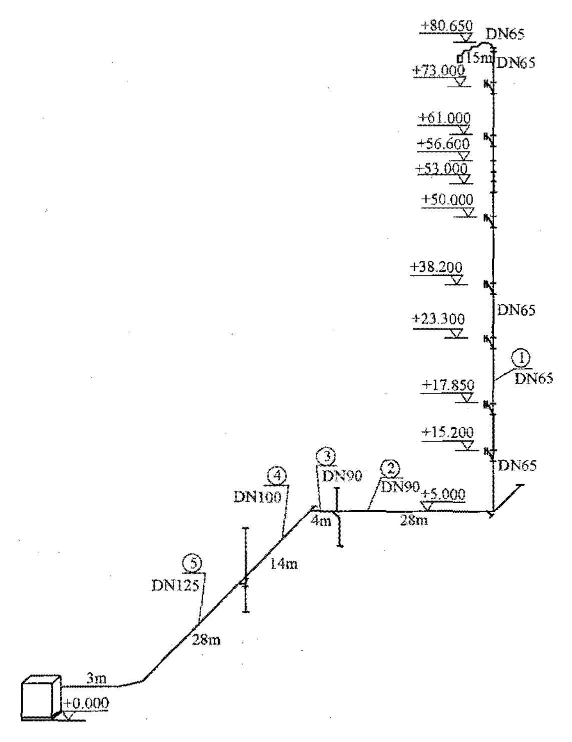


图 2-47　锅炉房真空清扫系统图

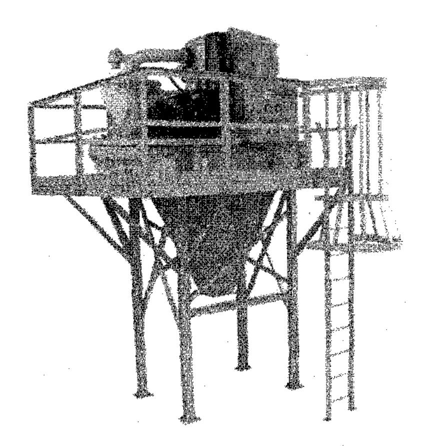


图 2-48　固定式真空清扫装置实物图

反吹来完成，反吹压缩空气压力为 560～700kPa。根据现场压缩空气的气源情况，空气压缩机可为选配件。在随机配置的压缩空气系统中装有储气罐与气水分离器，气水分离器能除去脉冲空气中的水汽。脉冲反吹过程由时间控制板控制。

固定式真空清扫装置主要性能指标可参考表 2-69。

表 2-69　　电厂常用的固定类真空清扫装置主要性能指标

型号	空气流量（空载时，m^3/min）	空气流量（54kPa，m^3/min）	功率［kW（hp）］	额定输送率（kg/min）	最大输送率（kg/min）	额定输送距离（m）	最大输送距离（m）	通用管径［mm（in）］
HV-820	9.9	8.2	15（20）	27.2	52.2	22.9	38.1	DN65（2.5）
HV-825	14.2	9.9	18.5（25）	36.3	74.8	32.8	65.5	DN80（3）
HV-830	16.7	14.2	22.5（30）	63.5	127.0	38.1	91.4	DN90（3.5）
HV-840	28.3	23.4	30（40）	77.1	158.7	53.3	121.9	DN100（4）
HV-850	34.7	31.2	37（50）	108.8	217.7	68.6	152.4	DN125（5）
HV-875	51.0	43.6	55（75）	158.7	317.5	83.8	198.1	DN150（6）

注　1. 吸料粒径：不大于 100mm。
2. 排气标准：50mg/m^3。
3. 表中 6 种型号是固定式、拖曳式、半移动式真空清扫装置共用的型号。

2. 拖曳式真空清扫装置

拖曳式真空清扫装置由动力头、料斗、过滤系统和控制装置组成。真空清扫装置安装在一辆可移动的小车上，用其他车辆将设备拖曳到厂区的不同地点，配合各处的管网系统，实现一机多用。此装置所配料斗为嵌入式设计，侧翻倒料。拖曳式真空清扫装置可以在各种道路上行驶和使用，其外形如图 2-49 所示。

拖曳式真空清扫装置采用定容罗茨真空泵，由电动机驱动。对 75hp（55kW）设备也可以采用独立柴油发动机驱动真空泵。此装置配有效容积为 1.15m^3 和 1.5m^3 料斗。在拖曳式真空清扫设备的过滤系统中，物料与气流通过主机两级过滤系统进行完全过滤，干净气体通过消音器排入到大气中。湿与干的物料和空气为同一通道。物料收集在主机料斗内，动力头内安装有料位计，料斗满后主机自动停机。卸料时，料斗可以用叉车铲出，物料随料斗翻转卸出。过滤袋室安装 2～4 个过滤筒，每个过滤筒过滤面积 3m^2。当产生真空时，过滤筒的清理是借助于连续脉冲压缩空气进行反吹来完成，反吹压缩空气压力为 560～700kPa。根



图 2-49　拖曳式真空清扫装置实物图

据现场压缩空气的气源情况，空气压缩机可为选配件。在随机配置的压缩空气系统中装有储气罐与气水分离器，气水分离器能除去脉冲空气中的水汽。脉冲反吹过程由时间控制板控制。

拖曳式真空清扫装置主要性能指标见表 2-69。

3. 半移动式真空清扫装置

半移动式真空清扫装置包括动力头、料斗、过滤系统和控制装置。半移动式真空清扫装置可以用叉车将设备移动到厂区的不同地点，配合各处的管网系统，实现一机多用的效果，其外形如图 2-50 所示。半移动式真空清扫装置主要性能指标见表 2-69。

拖曳式和半移动式真空清扫装置都具有轻便可移动的特点，即利用叉车或小型车辆可将其移动至所需地点。因此，利用拖曳式和半移动式真空清扫装置的这个特点，可将电厂中的真空清扫管网做成几个小的系统，方便运行操作及检测。

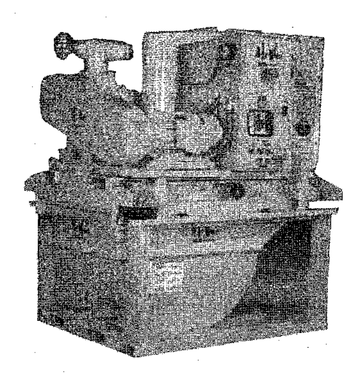


图 2-50　半移动式真空清扫装置实物图

（二）移动类真空清扫装置

移动类真空清扫装置是指工业真空吸尘车。该装置是将吸尘装置安装在卡车底盘上。工业真空吸尘车由动力系统、真空系统、过滤系统、液压系统、气动系统、控制系统与卡车底盘组成。吸尘车真空泵的动力有三种来源，即来自独立柴油发动机、汽车发动机或电动机。过滤系统采用旋风和布袋分离过滤的形式。布袋清理方式由气动系统空气压缩机产生的压缩空气脉冲反吹清理。移动式真空清扫装置的主要特点是机动性强，可用于日常的清理和输送工作。但是，移动式真空清扫装置需要专业驾驶人员，设备的采购和维护费用也要高于固定式真空清扫装置。

工业真空吸尘车分为 50hp（37kW）的简易吸尘车和 75hp（55kW）以上的通用型吸尘车。动力为 50hp（37kW）的简易吸尘车用于小范围内地面平坦的区域，如车间、厂房或厂区的清理，在电厂中应用较少。简易和通用型吸尘车的产品外形分别如图 2-51、图 2-52 所示。

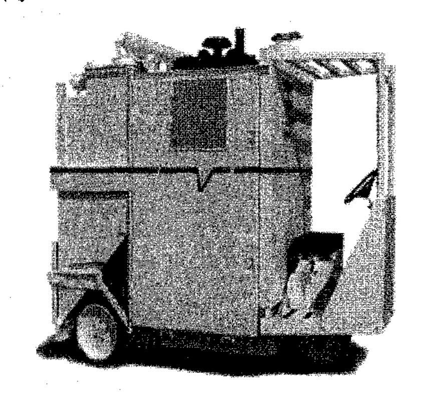


图 2-51　简易型吸尘车实物图



图 2-52　通用型吸尘车实物图

火力发电厂常用的真空吸尘车指的是通用型吸尘车，其主要性能指标见表 2-70。

表 2-70　　真空吸尘车主要性能指标

功率（kW）	37.5～238
最大负压（kPa）	51
最大风量（m^3/h）	2413～12659
最大输送量（t/h）	13.6～81.63
最大输送距离（m）	91.4～304.8
吸料粒径（mm）	粉尘约 100
料斗容积（m^3）	0.8～13.8
真空泵驱动方式	独立柴油发动机、汽车发动机或电动机
排气标准（mg/m^3）	50

六、真空清扫管网及其部件

（一）管网布置原则

（1）真空清扫管网的布置应满足下列要求：

1）采用移动式真空吸尘设备时，锅炉房与煤仓间吸尘管网宜独立设置，从而减少每个系统的吸口数量，减少漏风，保证真空度。

2）锅炉房与煤仓间吸尘管网宜按枝状管网布置。

3）锅炉本体管网主管道宜布置于底部，并按竖向支状管网布置。

4）支管应从主管侧面或上部接入，接入夹角不应大于15°，并与主管内物料流向一致。

5）弯头的曲率半径不宜小于6～12倍公称管径。当布置受限时，最小曲率半径不应小于4倍公称管径。

6）同层相邻的两个吸尘口的最大间距不宜超过30m，以确保相邻两个吸点之间的区域全部被覆盖。

7）吸尘软管的作业半径宜按10～15m选取，软管长度不宜超过20m。

8）吸尘管网支管端部应设置真空球阀及防尘塞，非工作期间应能够关闭且密封严密。

9）软管接口管件与管网支管接口应采用快速接头，支管接口宜布置在垂直方向，端部开口宜朝下。

（2）吸尘部件的选择和存放应符合下列要求：

1）耐磨软管的长度宜按10、15、20m等规格选用，并与清扫作业半径相匹配。

2）吸嘴应配置齐全，至少应包括细长吸嘴、扁型吸嘴、短粗吸嘴、扇型吸嘴、轮式地平吸嘴。

3）应设置存放吸尘部件的收纳箱。

（二）管材选用

1. 管道

吸尘管网的管道应采用厚壁无缝钢管，其选用规格应符合GB/T 17395—2008《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》的规定，见表2-71。

表2-71　真空清扫系统厚壁无缝钢管选用规格

公称直径（mm）	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250
外径 D_g×壁厚 s（mm）	60×4	76×5	89×5	114×6	140×8	168×8	219×8	273×8
内径 D_n（mm）	52	66	79	102	124	152	203	257
断面积（$\times10^{-4}m^2$）	21.2	34.2	49.0	81.7	121.0	181.0	324.0	518.0
质量（kg/m）	5.52	8.75	10.36	15.98	26.04	31.57	41.63	52.28

吸尘管网末端管道采用软管，其软管型号见表2-72。

表2-72　软管及标号

规格及名称	型号
DN50耐磨塑料管	C10-0450
DN80耐磨塑料管	C10-0458
DN150橡胶管	C10-0151

2. 管道部件

（1）软管连接件。

1）软管接头。用于软管与快速接头的连接。螺纹端与快速接头连接，另一端插入软管。软管接头外形尺寸及标号见图2-53、表2-73。

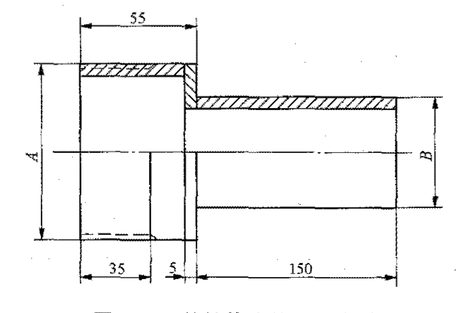


图2-53　软管接头外形尺寸图

表2-73　软管接头尺寸及标号

软管端管径 B（mm）	螺纹端管径 A（mm）							
	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
DN40	C02-1568	C02-0990	C02-0992	C02-0995	C02-0999	C02-1005	C02-1012	—
DN50	—	C02-0991	C02-0993	C02-0996	C02-1000	C02-1006	C02-1013	—

续表

软管端管径 *B*（mm）	螺纹端管径 *A*（mm）							
	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
DN65	—	—	C02-0994	C02-0997	C02-1001	C02-1007	C02-1014	—
DN80	—	—	—	C02-0998	C02-1002	C02-1008	C02-1015	—
DN90	—	—	—	—	C02-1003	C02-1009	C02-1016	—
DN100	—	—	—	—	C02-1004	C02-1010	C02-1017	C02-1025
DN125	—	—	—	—	—	C02-1011	C02-1018	C02-1026
DN150	—	—	—	—	—	—	C02-1019	C02-1027
DN200	—	—	—	—	—	—	—	C02-1028

注　软管接头按公称直径标记。

2）软管 Y 形接头。有两种形式，细管端都是光滑无螺纹的，用于插入两条细软管，粗管端分为有螺纹和无螺纹两种。有螺纹的用于和快速接头连接后，直接接入管网的吸料终端；无螺纹的用于直接插入粗软管。

有（无）螺纹软管 Y 形接头外形尺寸及标号见图 2-54、表 2-74 和图 2-55、表 2-75。

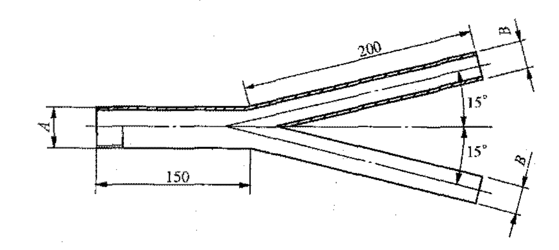


图 2-54　有螺纹软管 Y 形接头外形尺寸图

表 2-74　有螺纹软管 Y 形接头尺寸及标号

细管端管径 *B*（mm）	粗螺纹端管径 *A*（mm）				
	DN80	DN90	DN100	DN125	DN150
DN50	CH-0207	—	—	—	—
DN65	—	CH-0215	CH-0223	—	—
DN80	—	—	CH-0225	CH-0235	—
DN90	—	—	—	CH-0351	—
DN100	—	—	—	—	CH-0251

注　软管接头按公称直径标记。

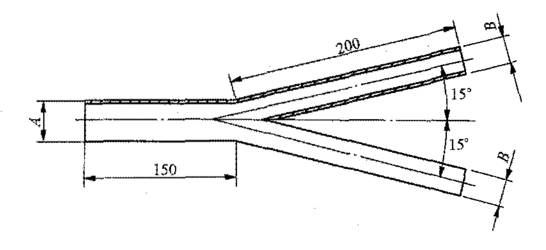


图 2-55　无螺纹软管 Y 形接头外形尺寸图

表 2-75　无螺纹软管 Y 形接头尺寸及标号

细管端管径 *A*（mm）	粗管端管径 *A*（mm）					
	DN80	DN90	DN100	DN125	DN150	DN200
DN50	CH-0206	—	—	—	—	—
DN65	—	CH-0214	CH-0222	—	—	—
DN80	—	—	CH-0224	CH-0234	—	—
DN90	—	—	—	CH-0236	—	—
DN100	—	—	—	—	CH-0250	—
DN125	—	—	—	—	—	CH-0266
DN150	—	—	—	—	—	CH-0268

注　软管接头按公称直径标记。

3）软管异径接头。用于两根不同管径软管之间的连接。软管异径接头外形尺寸及标号见图 2-56、表 2-76。

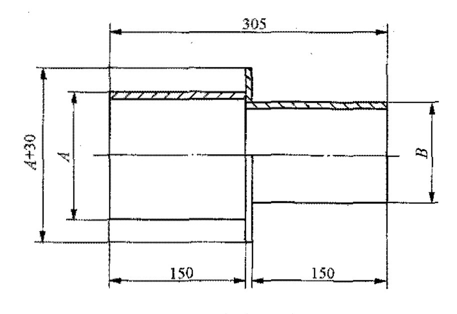


图 2-56　软管异径接头外形尺寸图

表 2-76　软管异径接头尺寸及标号

细管端管径 *B*（mm）	粗管端管径 *A*（mm）				
	DN80	DN90	DN100	DN150	DN200
DN50	C12-0019	C12-0017	C12-0015	—	—
DN65	C12-0018	C12-0016	C12-0014	—	—

续表

细管端管径 B（mm）	粗管端管径 A（mm）				
	DN80	DN90	DN100	DN150	DN200
DN80	—	—	C12-0013	C12-0012	—
DN100	—	—	—	C12-0011	—
DN150	—	—	—	—	C12-0010

注　软管接头按公称直径标记。

4）软管接长头。用于两根相同管径软管间的连接。软管接长头外形尺寸及标号见图 2-57、表 2-77。

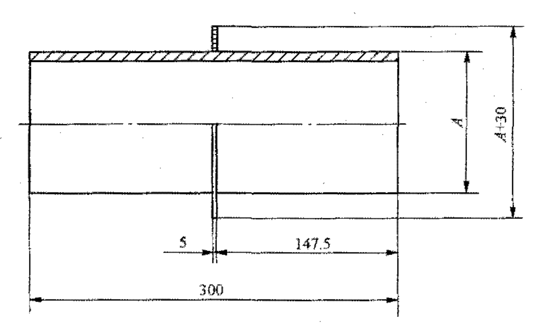


图 2-57　软管接长头外形尺寸图

表 2-77　　软管接长头尺寸及标号

软管管径 A（mm）	DN200	DN150	DN125	DN100
标号	C12-0236	C12-0001	C12-0245	C12-0002

软管管径 A（mm）	DN80	DN65	DN50
标号	C12-0244	C12-0003	C12-0243

5）软管卡箍。其用于软管插入钢管后将两者箍紧。软管卡箍实物见图 2-58，标号见表 2-78。

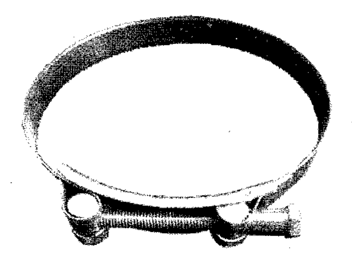


图 2-58　软管卡箍实物图

表 2-78　　软管卡箍标号

软管管径 A（mm）	DN200	DN150	DN125	DN100
标号	C12-0021	C12-0022	C12-0023	C12-0024

软管管径 A（mm）	DN80	DN65	DN50
标号	C12-0025	C12-0026	C12-0027

（2）钢连接件。为使管网耐磨和减小物料流动阻力，管网使用的管接件都采用厚壁钢管特殊制造。

1）异径接头。用于管网上不同管径的钢管间的连接。异径接头外形尺寸及标号见图 2-59、表 2-79。

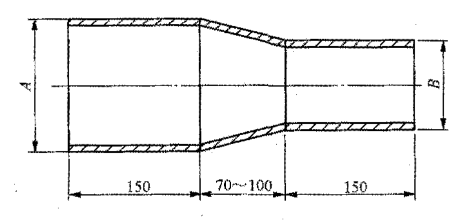


图 2-59　异径接头外形尺寸图

表 2-79　　异径接头尺寸及标号

粗管端管径 B（mm）	细管端管径 A（mm）							
	273（DN250）	219（DN200）	168（DN150）	140（DN125）	114（DN100）	102（DN90）	89（DN80）	76（DN65）
219（DN200）	C13-4089	—	—	—	—	—	—	—
168（DN150）	C13-4088	C13-4087	—	—	—	—	—	—
140（DN125）	—	C13-4086	C13-4085	—	—	—	—	—
114（DN100）	—	—	C13-4084	C13-4083	—	—	—	—
102（DN90）	—	—	—	C13-4082	C13-4081	—	—	—
89（DN80）	—	—	—	—	C13-4080	C13-4079	—	—
76（DN65）	—	—	—	—	—	C13-4078	C13-4077	—
60（DN50）	—	—	—	—	—	—	C13-4076	C13-4075

2）支管接头。用于管网上管道的分支，主管与支管间夹角成 15°。支管接头外形尺寸及标号见图 2-60、

表 2-80。

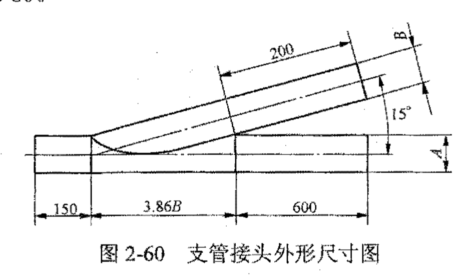


图 2-60　支管接头外形尺寸图

3）Y 形接头。用于管道上等角度分支，两根支管间夹角成 30°。Y 形接头外形尺寸及标号见图 2-61、表 2-81。

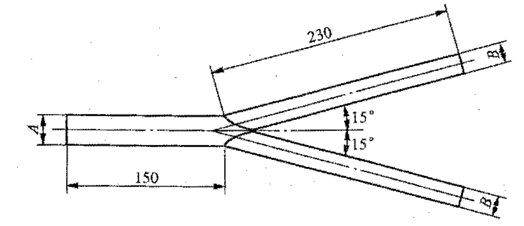


图 2-61　Y 形接头外形尺寸图

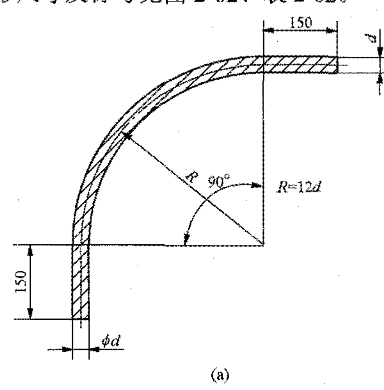
表 2-80　　**支管接头尺寸及标号**

支管管径 *B*（mm）	主管管径 *A*（mm）								
	273（DN250）	219（DN200）	168（DN150）	140（DN125）	114（DN100）	102（DN90）	89（DN80）	76（DN65）	60（DN50）
273（DN250）	C13-5079	—	—	—	—	—	—	—	—
219（DN200）	C13-5078	C13-5076	—	—	—	—	—	—	—
168（DN150）	C13-5077	C13-5075	C13-5073	—	—	—	—	—	—
140（DN125）	—	C13-5074	C13-5072	C13-5070	—	—	—	—	—
114（DN100）	—	—	C13-5071	C13-5069	C13-5066	—	—	—	—
102（DN90）	—	—	—	C13-5068	C13-5065	C13-5061	—	—	—
89（DN80）	—	—	—	C13-5067	C13-5064	C13-5060	C13-5057	—	—
76（DN65）	—	—	—	—	C13-5063	C13-5059	C13-5056	C13-5054	—
60（DN50）	—	—	—	—	C13-5062	C13-5058	C13-5055	C13-5053	C13-5052

表 2-81　　**Y 形接头尺寸及标号**

支管管径 *B*（mm）	主管管径 *A*（mm）								
	273（DN250）	219（DN200）	168（DN150）	140（DN125）	114（DN100）	102（DN90）	89（DN80）	76（DN65）	60（DN50）
273（DN250）	C13-6049	—	—	—	—	—	—	—	—
219（DN200）	C13-6048	C13-6046	—	—	—	—	—	—	—
168（DN150）	C13-6047	C13-6045	C13-6043	—	—	—	—	—	—
140（DN125）	—	C13-6044	C13-6042	C13-6040	—	—	—	—	—
114（DN100）	—	—	C13-6041	C13-6039	C13-6037	—	—	—	—
102（DN90）	—	—	—	C13-6038	C13-6036	C13-6034	—	—	—
89（DN80）	—	—	—	—	C13-6035	C13-6033	C13-6031	—	—
76（DN65）	—	—	—	—	—	C13-6032	C13-6030	C13-6028	—
60（DN50）	—	—	—	—	—	—	C13-6029	C13-6027	C13-6026

4）弯头。有90°和75°弯头两种，90°弯头用于一般90°连接，75°弯头用于与支管接头连接，配合使用。弯头外形尺寸及标号见图2-62、表2-82。



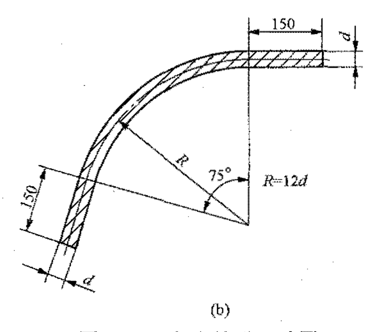


图2-62 弯头外形尺寸图

（a）90°弯头；（b）75°弯头

表2-82 弯头尺寸及标号

90°弯头	管径d(mm)	DN200	DN150	DN125	DN100
	标号	C13-7049	C13-7050	C13-7051	C13-7052
	管径d(mm)	DN90	DN80	DN65	DN50
	标号	C13-7053	C13-7054	C13-7055	C13-7056
75°弯头	管径d(mm)	DN200	DN150	DN125	DN100
	标号	C13-8049	C13-8050	C13-8051	C13-8052
	管径d(mm)	DN90	DN80	DN65	DN50
	标号	C13-8053	C13-8054	C13-8055	C13-8056

5）压紧接头。用于钢管与管接件、管接件与管接件之间的连接。一般压紧接头宽度为200mm，大口径和特殊要求时采用其他宽度的压紧接头。压紧接头外形尺寸及标号见图2-63、表2-83。

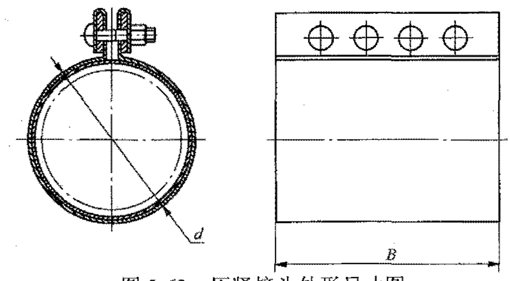


图2-63 压紧接头外形尺寸图

表2-83 压紧接头尺寸及标号

管径 d（mm）	压紧接头宽度 B（mm）			
	150	200	250	300
60（DN50）	C10-0239	C10-0240	—	—
76（DN65）	C10-0242	C10-0243	—	—
89（DN80）	C10-0245	C10-0246	—	—
102（DN90）	C10-0248	C10-0249	—	—
114（DN100）	C10-0251	C10-0252	—	—
140（DN125）	C10-0257	C10-0258	—	—
168（DN150）	C10-0260	C10-0261	C10-0262	—
219（DN200）	—	C10-0264	C10-0265	C10-0266
273（DN250）	—	C10-0267	C10-0268	C10-0269

6）端管接头。用于管道和快速接头之间的连接，螺纹端采用的管螺纹与快速接头相配合，无螺纹端与管道终端连接。端管接头外形尺寸及标号见图2-64、表2-84。

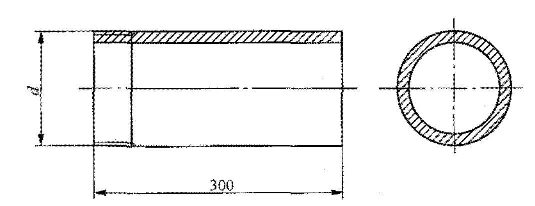


图2-64 端管接头外形尺寸图

表2-84 端管接头尺寸及标号

管径 d（mm）	DN250	DN200	DN150	DN125	DN100
标号	C13-1049	C13-1050	C13-1051	C13-1052	C13-1053
管径 d（mm）	DN90	DN80	DN65	DN50	
标号	C13-1054	C13-1055	C13-1056	C13-1057	

7）简易总管（端管）接头。分为带锥度和不带锥度两种，带锥度的一般用于经常要将软管插入和拔出的场合，如吸尘车和管网总管的连接；不带锥度的用于不需要经常要将软管插入和拔出的场合，如固定式吸尘装置的入口减震软管和管网总管的连接。简易总管（端管）接头外形尺寸及标号见图2-65、表2-85。

3. 吸嘴、快速接头及工具箱

（1）吸嘴。外形及标号见表2-86。国产吸嘴件号中S为用不锈钢材质制造，A为用铝材质制造。

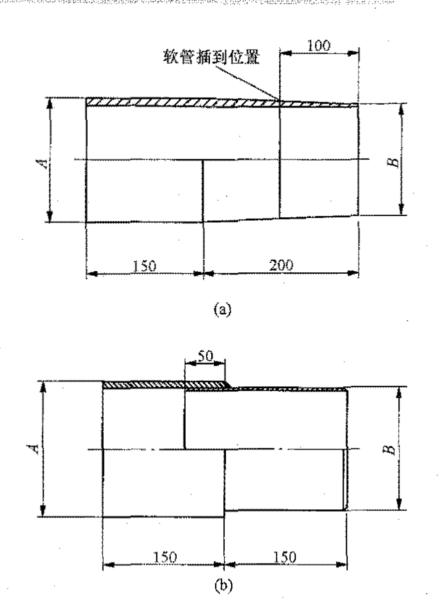


图 2-65　简易总管（端管）接头外形尺寸图

（a）有锥度简易总管接头；（b）无锥度简易总管接头

表 2-85　简易总管（端管）接头尺寸及标号

细管管径 *B*（mm）	粗端管径 *A*（mm）				
	DN250	DN200	DN150	DN125	DN100
有锥度简易总管接头					
DN250	C13-1059	—	—	—	—
DN200	C13-1060	C13-1061	—	—	—
DN150	—	C13-1062	C13-1063	—	—
DN125	—	—	C13-1064	C13-1065	—
DN100	—	—	—	C13-1066	C13-1067
无锥度简易总管接头					
DN250	C13-1069	—	—	—	—
DN200	C13-1070	C13-1071	—	—	—
DN150	—	C13-1072	C13-1073	—	—
DN125	—	—	C13-1074	C13-1075	—
DN100	—	—	—	C13-1076	C13-1077

表 2-86　　吸 嘴 外 形 及 标 号

管径（mm）	吸嘴外形				
	细长吸嘴	扁型吸嘴	粗吸嘴	扇型吸嘴	轮式地平吸嘴
DN50	C11-0089S	C11-0098S	C11-0079S	C11-0107S	C11-0601A
DN80	C11-0093S	C11-0102S	C11-0083S	C11-0111S	C11-0630A
DN100	C11-0096S	C11-0105S	C11-0086S	C11-0114S	C11-0650A

（2）快速接头。用于软管与主机入口、软管与管网的吸尘终端以及软管与吸嘴之间的标准连接，阳件和阴件配合使用。阴件和防尘塞配合使用，用于堵塞阴件；阳件和防尘盖配合使用，用于堵塞阳件。它们的配合可以保证 100%密封，无真空损失。快速接头外形尺寸及标号见图 2-66、表 2-87。

表 2-87　　快速接头尺寸及标号

部件	接头管径（mm）		
	DN50	DN80	DN100
阴件	C10-0209	C10-0211	C10-0212
阳件	C10-0201	C10-0203	C10-0204
防尘塞	C10-0223	C10-0225	C10-0226
防尘盖	C10-0216	C10-0218	C10-0219

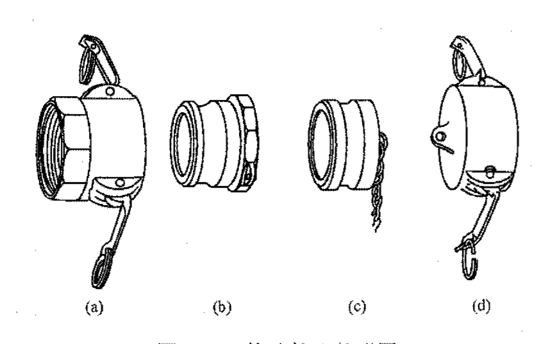


图 2-66　快速接头外形图

（a）阴件；（b）阳件；（c）防尘塞；（d）防尘盖

（3）工具箱。现场工具箱摆放在电梯停靠层的清理现场，里面存放常用的软管、吸嘴和各种管接件，

使用灵活，摆放整洁，易于保管。箱内物品可以由设计者自行选择，工具箱如图 2-67 所示。

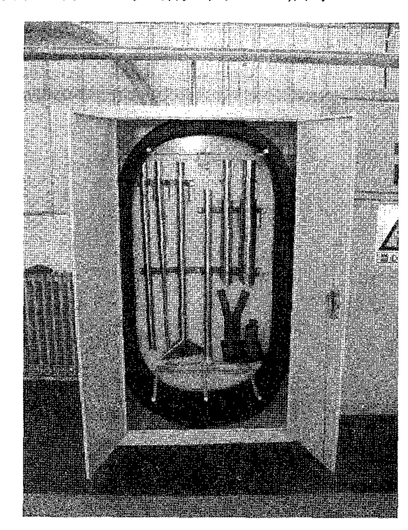


图 2-67 工具箱实物图

七、真空清扫系统设计注意事项

（一）设计要点

鉴于物料在管道中流动的特殊性，管道系统的安装方式也有所不同。要充分考虑管路密封、不造成堵塞、减少磨损、减少阻力、易于更换等因素。为此，提出如下设计要求：

（1）从主管接引支管时，采用支管接头或 Y 形接头，必须保证支管中的物料流向与主管中的物料流向成 15°角（即 Y 形的分叉成 30°角），支管中物料流向与主管中物料流向成顺流方向。

（2）从水平管道上接引支管时，必须将支管从主管侧面或顶部接出，而不得从底部接出，即管接头的支管段应与主管处于同一水平面内或高于主管水平面。

（3）管道中的弯头曲率半径应为 6～12 倍公称管径，当布置受限时，最小曲率半径应不小于 4 倍公称管径。

（4）管道与管道、管接件与管接件、管道与管接件之间的连接宜采用压紧接头连接，不宜焊接。由于采用压紧接头，所有接口必须平滑、无毛刺。管口平面与管道中心线成 90°，对接严紧后再拧紧压紧接头。

（5）管道支吊点要在管接件外侧，以便管件的更换。

（6）管道末端采用端管接头和快速接头阴端连接，端口处用防尘塞封口。

（7）软管与管道末端的连接使用快速接头，管道末端吸口处的管道为垂直向下，使软管的装接竖直向上，从而保证来自软管的物料流向是竖直上行进入管道的。

（8）管道系统连机调试时，要对全部节点逐一检查，不得泄漏，以保证管内的负压。

（二）真空系统连接方式

下面将以惠万公司产品为例，介绍真空清扫装置主机与管道、管网吸料终端、吸嘴和软管间的连接方式。

1. 真空清扫装置主机与管道连接方式

（1）移动式真空清扫装置主机与管道连接方式。移动式真空清扫装置主机（即工业真空吸尘车，简称吸尘车）入口端有螺纹连接和无螺纹连接两种形式，分别用于快速接头和软管直插（软管直插时往往要采用卡箍将软管箍紧）两种连接方式。管网主管端有三种连接方式供选择，目前大多采用 UV 快速接头与软管连接［如图 2-68（e）所示］，为节省开支，也有采用简易总管端管接头和软管连接的，吸尘车主机与管道连接方式如图 2-68 所示。

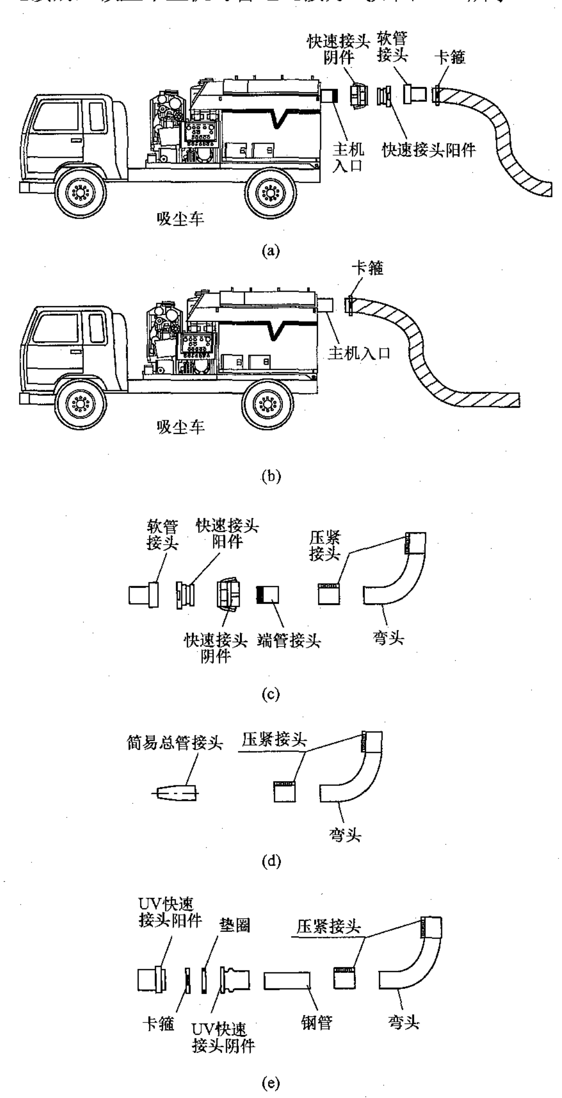


图 2-68 吸尘车主机与管道连接方式图

（a）主机入口有螺纹连接；（b）主机入口无螺纹连接；（c）管网主管端有螺纹连接；（d）管网主管端简易连接；（e）管网主管端 UV 快速接头连接

（2）半移动式真空清扫装置主机与管道连接方式。标准的半移动式真空清扫装置主机入口是用螺纹连接的，也可以选用主机入口无螺纹直插连接。管网主管端的各种连接方式同吸尘车。半移动式真空清扫装置与管道连接方式如图 2-69 所示。

（3）固定式真空清扫装置主机与管道连接方式。固定式真空清扫装置主机一般在连接好以后就不再拆装和变化，因此往往采用一小段橡胶管作为隔离减振。橡胶管一端直接插入主机入口，另一端和管网主管通过简易总管端管接头（无锥度）插入连接，如图 2-70 所示。

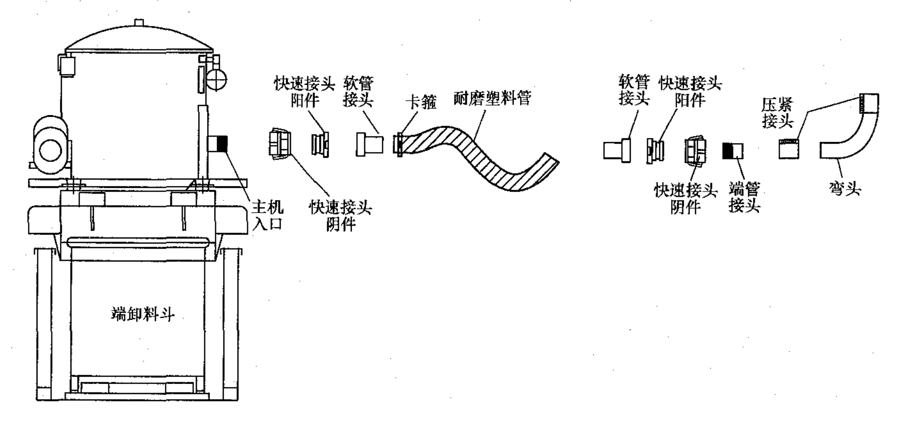


图 2-69　半移动式真空清扫装置与管道连接方式图

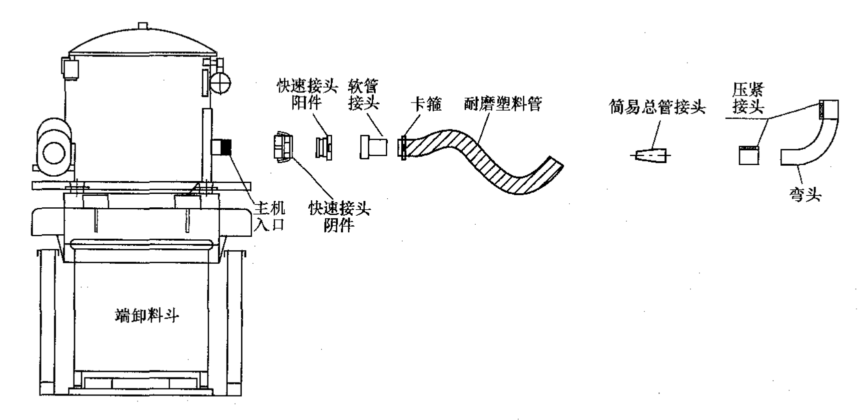


图 2-70　固定式真空清扫装置与管道连接方式图

（4）吸尘车单独使用时的连接方式。有时为了处理工厂内的临时跑、冒、漏事故，吸尘车不使用固定管网，而配一套软管及其附件进行单独作业，可按图 2-71 所示连接方式工作。

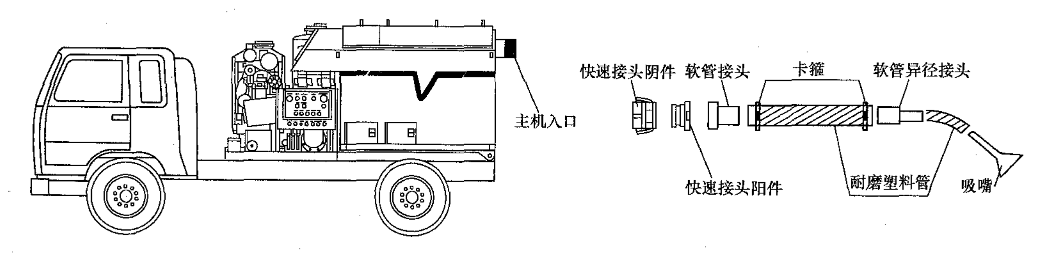


图 2-71　吸尘车单独使用时的连接方式图

2. 管网吸料终端连接方式

管网吸料终端是管网上最细的一端，终端处连接耐磨塑料软管，软管的另一端连接吸嘴，由工人操作吸嘴进行吸料作业。一般吸料时采用 DN50 吸嘴和软管较合适。有时吸料量较大或粒度较大时，可以采用 DN80 软管和吸嘴，因此，管网吸料终端大多采用 DN80 钢管和 DN80 快速接头，配合使用不同的软管接头或软管 Y 形接头，连接不同直径的软管和吸嘴。具体连接形式如图 2-72 所示。

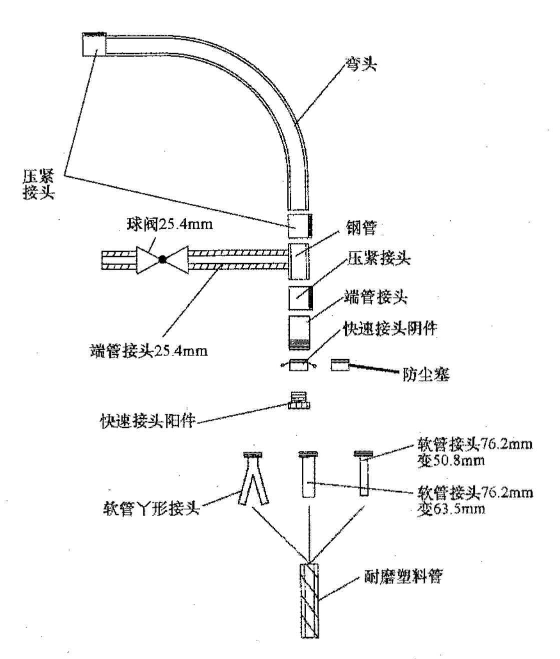


图 2-72 管网吸料终端连接图

3. 吸嘴和软管间的连接方式

吸嘴和软管的连接有两种方式：直插连接方式和快速接头连接方式。采用直插连接的吸嘴外径略小于软管内径，直接插入软管即可以使用，较快速接头连接方式轻便、节约，所以一般采用这种方式。吸嘴和软管连接如图 2-73 所示。

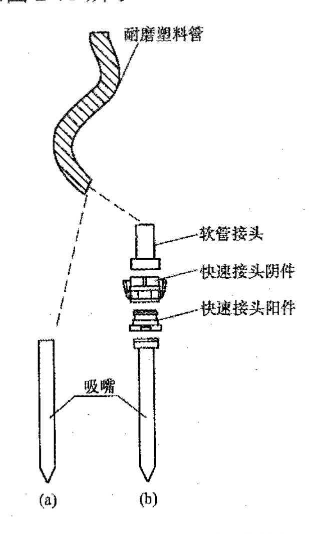


图 2-73 吸嘴和软管连接图

（a）直插连接方式；（b）快速接头连接方式

第三章

主厂房区域空气调节

第一节 主厂房区域空气调节设计原则

一、主厂房区域空气调节设计概述

1. 主厂房区域空气调节设计目的和范围

主厂房区域空气调节设计范围，一般指在主厂房（包括汽机房、除氧间、锅炉房和集控楼）范围内，为保证某个或多个封闭区域内工艺设备的安全运行和工作人员的身体健康，对室内空气参数（如温度、相对湿度、洁净度、空气流速及新鲜空气量等）进行调节和控制而设计的空气调节系统。

主厂房区域空气调节服务对象主要是集控楼内为保证电厂安全运行的集中控制室、工程师室、电子设备室和继电器室等监控区域，它们是整个电厂的控制中心，是电厂安全运行的保证。因此，这些区域空气调节设计的重要性也是不言而喻的。根据这些区域的使用功能，空气调节设计基本上可分为两类：一是为保证工艺设备安全运行而设置的工艺性空气调节系统，主要有电子设备室、继电器室、SIS（supervisory information system，电厂级监控信息系统）室、MIS（management information system，电厂管理信息系统）室和汽水取样间等；二是为满足运行人员工作环境而设置的舒适性空气调节系统，它包括集中控制室、就地控制室（如凝结水精处理控制室、暖通控制室等）、工程师室、值班室、交接班室及会议室等。

2. 电厂控制系统简介

随着我国电力建设整体水平提高，电厂自动化技术也在不断地升级，尤其进入20世纪90年代后，计算机和通信网络技术的迅猛发展和广泛应用，采用以计算机为核心的DCS（distributed control system，集散式控制系统）已成为电厂主要工艺系统运行监控的基本配置。电厂自动监控系统，从20世纪80年代300MW发电机组的单元式机、炉、电集中监控，发展到现在1000MW及以上等级多台发电机组集中监控，并将电厂主要辅助系统的控制作为子系统[其中包括暖通PLC（programmable Logic controller，可编程序逻辑控制器）监控系统] 纳入到电厂DCS的监控范围。

电厂监控模式，一般有单元监控模式和集中监控模式，主要根据电厂的建设规模和运行方式确定。随着发电机组单机容量的增大，机组自动化程度的提高，运行管理人员的减少，集中监控模式已成为电厂建设的首选。一般单机容量在200MW及以上等级的电厂基本上都采用机、炉、电集控的监控模式。从布置上看，有一机一控的单元制监控模式，也有多机一控的集中式监控模式。

电厂监控系统一般根据其使用功能，将监控设备区域和控制设备区域分开布置，即集中控制室和电子设备室（包括热控、电气的控制设备区域）分开布置。集中控制室主要是运行人员对各工艺系统运行进行监视和控制的场所，而电子设备室主要是布置工艺系统运行控制设备的区域。为了便于运行管理，一般将这些区域集中布置于集控楼内。在侧煤仓主厂房布置方案中也有将机组由运行人员监控的设备集中布置，而将控制设备（如电子设备室和电气继电器室等）分散布置于各所控对象的附近。

二、室内空气质量标准

保证室内空气质量是空气调节系统设计的主要任务之一。在GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》中，从空气的物理性、化学性、生物性和放射性四个类别给出了室内空气质量的标准值。对于主厂房空气调节设计而言，室内空气质量主要与空气物理性中的温度、相对湿度、流速和新鲜空气（简称新风）量，空气化学性中的可吸入颗粒浓度，以及空气生物性中的菌落总数有关，见表3-1。其中室内空气的温度、相对湿度、流速和新风量一般可通过空气的热湿处理、流量调节等手段加以控制，可吸入颗粒污染物的控制一般可采用空气过滤措施达到，菌落总数的控制一般可采用控制室内相对湿度和变化空气调节区新风量予以实现，其余限制指标在主厂房的空气调节环境中一般不会超限。

表 3-1　　室内空气质量标准

序号	参数	单位	标准值	备注
1	温度	℃	22～28	夏季空气调节
			16～24	冬季供暖
2	相对湿度	%	40～80	夏季空气调节
			30～60	冬季供暖
3	流速	m/s	0.3	夏季空气调节
			0.2	冬季供暖
4	新风量	m^3/（h・人）	30	
5	可吸入颗粒 PM_{10}	mg/m^3	0.15	日平均值
6	菌落总数	cfu/m^3	2500	依据仪器测定①

注　本表摘自 GB/T 18883—2002。

①　仪器测定见 GB/T 18883—2002。

在主厂房区域，空气调节设计很大部分是针对工艺性空气调节房间，空气调节系统以保证房间内空气参数能否满足工艺设备对周边空气质量要求为主要目的，使工艺设备能安全、可靠地运行。随着我国电子、电气元器件技术的发展，其对周围环境的温度、相对湿度要求不像以前那样苛刻，一般对于电子、电气设备而言，室内环境温度、相对湿度在如下的范围内能正常稳定地工作：

（1）温度为 16～30℃，其变化率每小时不超过 5℃。

（2）相对湿度为 30%～70%。

在电厂运行期间，这些电气、控制设备房间也经常会有巡检、维护人员进入，对设备进行正常的巡检、维护、检修等工作，因此这些房间的空气调节设计同时也应兼顾维护人员的舒适性工作环境需求。因此，对于主厂房工艺性空气调节房间，按表 3-1 所示的室内空气质量标准进行空气调节系统设计，完全能够满足工艺性空气调节房间对室内环境的要求。

三、主厂房区域空气调节设计参数的确定

1. 室内温度、相对湿度的确定

主厂房区域空气调节室内设计参数的确定主要考虑两个方面因素：一是保证工艺设备安全运行，二是满足运行人员健康需求。

除此之外，室内设计参数确定还要考虑到空气调节系统的运行能耗。根据有关资料介绍：在供热工况下，室内温度每降低 1℃，能耗可减少 10%～15%；在供冷工况下，室内温度每提高 1℃，能耗可减少 8%～10%。另外，室内温度的改变，对系统新风量的能耗也是很可观的。由此可见，室内温度、相对湿度设计参数的确定对系统运行能耗影响很大，因此在满足使用要求的前提下，应合理确定室内设计参数。

另外，室内设计参数的控制精度也将关系到空气调节系统设计容量。例如，室内温度精度（允许波动范围）为 0.5℃和 1.0℃，对空气调节系统送风温差的要求就有所不同，直接影响到系统风量大小，对空气调节系统能耗水平也具有很大的影响。一般在工程设计中，送风温差往往按相关的标准和规范确定。

根据 DL/T 5035—2016 及 GB 50019—2015 的相关规定，主厂房区域空气调节室内设计参数按表 3-2 取值。

表 3-2　　室内设计参数推荐值

房间名称	夏季				冬季			房间换气次数（次/h）
	温度（℃）	相对湿度（%）	工作区风速（m/s）	送风温差（℃）	温度（℃）	相对湿度（%）	工作区风速（m/s）	
电子设备室	26±1	50±10	≤0.5	≤9	20±1	50±10	≤0.2	5
继电器室、SIS 室、MIS 室	24～28	40～65	≤0.3	5～10	18～22	40～65	≤0.2	5
集中控制室、单元控制室、工程师室、打印机室	24～28	40～65	≤0.3	5～10	18～22	40～65	≤0.2	5
仪表盘架间	26	—	—	—	18	—	—	
交接班室、会议室、仪表室等	26	—	—	—	18	—	—	

注　1. 夏季送风温差为使用人工冷源前提下的参数；

2. 当集中控制室、单元控制室、工程师室和打印室等房间无特殊要求时，夏季室内设计温度和相对湿度宜分别按照 26℃和 50%计算，冬季室内设计温度和相对湿度宜分别按 20℃和 50%计算。

除了表 3-2 中所规定的设计参数外，空气调节系统设计还应包括室内新风量（或系统新风比）和空气洁净度等要求。

2. 室内新风量的确定

室内新风量是空气调节设计一个重要指标，它既是影响室内卫生条件的重要因素，也是影响空气调节系统负荷的重要因素，这两个因素正好是相悖的。室内新风量少了，会使室内卫生条件恶化；室内新风量大了，会使系统能耗增加。如何确定一个合适的室内新风量指标，是空气调节系统设计的重要内容。在常规的空气调

节设计中，尤其是电厂的空气调节设计，一般采用“规定设计法”确定室内新风量，其他新风量确定方法可见参考文献[6]。GB/T 18883—2002 规定每人每小时不小于 30m^3 新风量限值，对一般的空气调节设计项目而言，这是一个能满足人体健康和舒适要求的最低限值。

由于主厂房空气调节系统的特殊性，空气调节区内往往人员很少，而建筑面积较大，完全按上述室内新风量指标计算时，所需要的新风量占整个空气调节系统风量的比例很小，最后能够达到人员工作区域的有效新风量则更少。一般室内新风量应根据 DL/T 5035—2016 确定。

3. 室内空气洁净度的确定

在主厂房空气调节设计中，对室内空气洁净度的要求主要有两个方面：一是为了人员健康，二是为了满足工艺设备对周围环境洁净度的要求。对于人员健康而言，是指室内空气中可吸入颗粒物的含量，根据 GB/T 18883—2002，室内空气中可吸入颗粒物的含量为 0.15mg/m^3（指悬浮在空气中，空气动力学当量直径小于或等于 10μm 的颗粒物）。对于工艺设备而言，应根据工艺设备对周围环境洁净度的要求确定。因此根据 GB/T 14295—2008《空气过滤器》，针对主厂房空气调节区的空气洁净度的要求，一般采用不低于 Z1 级中效空气过滤器，即可满足工艺设备和人员健康的要求。

4. 室外计算参数的确定

室外计算参数的确定是空气调节设计的一个重要环节，它关系空气调节系统的设备投资、系统运行费用和空气调节区空气质量保证条件。

一般情况下，空气调节室外计算参数可从 GB 50019—2015 中选取。此标准仅收集和统计了国内主要城市和地区的室外空气计算参数，对于实际工程设计项目，可能无法从中找到，此时，可通过下述两种方法获得：

（1）当项目所在地区的气象观测数据满足要求时，可根据 GB 50019—2015 的规定统计获得。

（2）当项目所在地区的气象观测数据不能满足要求时，其空气调节冬、夏两季的室外计算参数可根据 GB 50019—2015 给出的气象参数的简化统计方法进行计算取得。

应当注意的是：当气象站点海拔与实际厂址海拔相差较大时，应对室外大气压、温度及相对湿度等参数进行修正。

5. 气象参数的简化统计

（1）冬季空气调节室外计算温度为

$$t_{wk}=0.3t_{lp}+0.7t_{p,min} \tag{3-1}$$

式中 t_{wk}——冬季空气调节室外计算温度，℃；

t_{lp}——累年最冷月平均温度，℃；

$t_{p,min}$——累年最低日平均温度，℃。

（2）夏季空气调节室外计算干球温度为

$$t_{wg}=0.47t_{rp}+0.53t_{max} \tag{3-2}$$

式中 t_{wg}——夏季空气调节室外计算干球温度，℃；

t_{max}——累年极端最高温度，℃；

t_{rp}——累年最热月平均温度，℃。

（3）夏季空气调节室外计算湿球温度：

北部地区为

$$t_{ws}=0.72t_{s,rp}+0.28t_{s,max} \tag{3-3}$$

中部地区为

$$t_{ws}=0.75t_{s,rp}+0.25t_{s,max} \tag{3-4}$$

南部地区为

$$t_{ws}=0.80t_{s,rp}+0.20t_{s,max} \tag{3-5}$$

式中 t_{ws}——夏季空气调节室外计算湿球温度，℃；

$t_{s,rp}$——与累年最热月平均温度和平均相对湿度对应的湿球温度，℃；

$t_{s,max}$——与累年极端最高温度和累年最热月平均相对湿度（φ_{rp}，%）对应的湿球温度，℃。

（4）夏季空气调节室外计算日平均温度为

$$t_{wp}=0.80t_{rp}+0.2t_{max} \tag{3-6}$$

式中 t_{wp}——夏季空气调节室外计算日平均温度，℃。

上述气象参数中 $t_{s,rp}$、$t_{s,max}$ 可从当地大气压力下的焓湿图上查得，t_{lp}、t_{rp}、$t_{p,min}$、t_{max}、φ_{rp} 都应在工程设计前期阶段的厂址气象条件中给予明确。

四、国内外空气调节设计参数的比对

随着涉外电力工程项目日益增多，项目建设方要求采用当地和美国的设计标准较为普遍。现简单介绍有关中国标准与美国标准在电厂空气调节设计中室内外设计参数选取原则的一些差异。

1. 室内设计参数

中国标准与美国标准中室内设计参数比对见表 3-3。

表 3-3 室内设计参数比对

空气调节区名称	GB 50660—2011				《2011 ASHRAE 手册 供暖通风与空气调节系统应用》（美国标准）		
	室内温度	相对湿度	工作区风速	最小新风量	对应的室外冷却/加热温度	室内温度	相对湿度或温度
控制室	夏季：24～28℃； 冬季：18～22℃	40%～65%	0.3m/s	（1）按新风比 10%L（L 为空气调节系统风量，m^3/h）；	极限温度	最高：24℃±1℃； 最低：22℃±1℃	30%～65%

续表

空气调节区名称	GB 50660—2011				《2011 ASHRAE 手册 供暖通风与空气调节系统应用》（美国标准）		
	室内温度	相对湿度	工作区风速	最小新风量	对应的室外冷却/加热温度	室内温度	相对湿度或温度
控制室	夏季：24～28℃；冬季：18～22℃	40%～65%	0.3m/s	（2）维持正压 5～10Pa；（3）卫生条件：≥30m³/（h·人）	极限温度	最高：24℃±1℃；最低：22℃±1℃	30%～65%
电子设备室	夏季：26℃±1℃；冬季：20℃±1℃	50%±10%	0.2 m/s	（1）按新风比 5%L；（2）维持正压 5～10Pa；（3）卫生条件：≥30m³/（h·人）			
办公室	夏季：26℃；冬季：18℃	—	—	卫生条件：≥30m³/（h·人）	根据发生频率1%/99%来确定	最高：26℃	最低：21℃

注 GB 50660—2011：室内温度、相对湿度参数没有对应的室外温度保证率的要求。
《2011 ASHRAE 手册 供暖通风与空气调节系统应用》：室内设计参数对应的室外设计参数根据房间的功能、重要性，按不同的发生频率，采用不同的室外设计参数。

2. 室外设计参数

中国标准与美国标准中对室外设计参数在统计方法和选用标准上均有所不同，两者之间的差异见表 3-4。

表 3-4　室外设计参数对比

序号	比对名称	GB 50019—2015	《2009 ASHRAE 手册 基础》（美国标准）
1	冬季空气调节室外计算温度	采用累年平均每年不保证 1 天的日平均干球温度	对应年累计发生频率 99.6%和 99.0%的干球温度（寒冷条件下）
	差异	中国标准：不论项目的重要程度，只有一个值。 美国标准：提供了两个保证率，根据要求选取（这只是对于一般空气调节而言）。对于控制室和电子设备室，对应的室外加热温度则采用极限温度	
2	夏季空气调节室外计算干球温度	采用累年平均每年不保证 50h 的干球温度	对应年累计发生频率 0.4%、1.0%、2.0%的干球温度（温暖条件下）
	差异	中国标准：不论项目的重要程度，只有一个值，折合不保证率约为 0.4%；另外，干球温度单独统计，与湿球温度没有对应的关系。 美国标准：提供了 0.4%、1.0%和 2.0%三个不保证率，根据要求选取（这只是对于一般空气调节而言）。对于控制室和电子设备室，对应的室外冷却温度则采用极限温度	
3	夏季空气调节室外计算湿球温度	采用累年平均每年不保证 50h 的湿球温度	采用与干球温度同时刻的湿球温度平均值
	差异	中国标准：仅针对湿球温度一组独立的数据进行统计。 美国标准：湿球温度是与空气调节干球温度相对应的，而不是单独统计的	
4	蒸发冷却参数	暂无具体规定	（1）对应年累计发生频率 0.4%、1.0%、2.0%的湿球温度，并与平均干球温度相对应。 （2）与湿球温度对应的干球温度
	差异	中国标准：无相关的标准。 美国标准：在气象参数附表中直接列出了蒸发冷却的设计参数，并在说明中提到 wet-bulb temperature 可用于蒸发冷却	
5	极端温度	1971～2000 年作为统计期内的最高和最低干球温度	5、10、20 年和 50 年一遇的极端最低和最高干球温度值
	差异	中国标准：统计了 1971～2000 年的极端干球温度。 美国标准：分别统计了 5、10、20 年和 50 年的极端干球温度，统计年份为 1982～2006 年	

五、空气调节房间建筑热工要求

主厂房空气调节区围护结构热工设计主要针对集中控制室（或单元控制室）、工程师室、电子设备室和继电器室等空气调节房间。围护结构冷负荷是决定空气调节系统风量、空气调节装置容量的重要因素之一，而围护结构冷负荷大小主要取决于建筑布置和围护结构热工性能。由于我国地域广阔，不同地域的气候条件差异较大，因此 GB 50176—2016 从建筑热工设计的角度出发，将全国划分成严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖和温和五个建筑热工设计气候分区，在第一章第四节中，对这五个建筑热工设计气候分区进行了较为详细的描述，并提出相应的冬季保温和夏季防热设计要求。

1. 空气调节房间的建筑布置

在工程设计中，建筑布置是影响空气调节房间围护结构负荷大小的一个重要因素。对主厂房区域而言，建筑布置主要取决于工艺系统布置，空气调节房间的布置只能在满足工艺系统布置要求的条件下，在如下几个方面对建筑布置提出一些建议和要求，尽量降低空气调节房间围护结构负荷：

（1）空气调节房间应尽量集中布置，最好将相同空气调节性质（舒适性空气调节或工艺性空气调节）、相似温度及相对湿度基数、使用时间相同的房间相邻布置（水平相邻或上下对齐）。

（2）空气调节房间应尽量避免靠近高温高湿的房间布置。

（3）尽量减少空气调节房间的开窗面积，并对有可能受太阳辐射的外窗采取遮阳措施。

（4）在满足工艺设备布置、空气调节房间气流组织和人体舒适要求时，尽可能减少房间空气调节区的高度。

（5）对于空气调节温度精度要求较高的房间，有条件时建议设置门斗或回廊。

（6）工艺性空气调节房间的外墙、外墙朝向及层次根据空气调节房间室内允许波动范围见表 3-5。

表 3-5　　外墙、外墙朝向及层次

室温允许波动范围（℃）	外墙	外墙朝向	层次
±1.0	宜减少外墙	宜朝北	宜避免顶层
±0.5	不宜有外墙	如有外墙时，宜向北	宜底层
±（0.1～0.2）	不应有外墙		宜底层

注　本表摘自参考文献［7］。

2. 围护结构热工设计

围护结构热工设计应满足 GB 50189—2015 有关围护结构热工性能的要求，并采取以下有效的密闭、保温隔热和防潮隔汽措施：

（1）围护结构的密闭措施。集中控制室（或单元控制室）、工程师室、电子设备室和继电器室等空气调节房间应采用密闭性较好的围护结构，并宜采用双层隔热密闭窗和保温门。经常开启的门应设弹簧门，并应尽量设置缓冲间，穿过围护结构的电缆、管道及其他孔洞应封堵严密。

（2）围护结构的保温隔热措施。集中控制室（或单元控制室）、工程师室、电子设备室和继电器室等空气调节房间的围护结构应采取有效的保温隔热措施，以减少空气调节系统的冷量和热量损失。由于上述房间一般均布置在集控楼，根据相关规定，上述房间的围护结构传热系数应满足表 3-6 的规定。

表 3-6　　围护结构传热系数限值　［W/（m^2·℃）］

围护结构部位	建筑热工设计分区			
	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区
屋面	0.35	0.45	0.7	0.7
外墙（包括非透明幕墙）	0.65	0.85	1.2	1.5
空气调节房间与非空气调节房间的隔墙（房中房）	1.5	1.5	1.5	1.5
外窗	3.2	3.2	3.2	3.2

上述这些围护结构传热系数限值，在工程设计中一般均由建筑专业保证，暖通专业人员对于一些重要空气调节房间围护结构的热工性能需向建筑专业提出要求。

（3）围护结构的防潮隔汽措施。对于多雨潮湿地区，可在围护结构靠室外侧或保温层外侧设防潮层。在我国北方及中原地区，冬季室内外温差为 20～45℃，可按冬季条件考虑在围护结构靠室内侧或保温层内侧设隔汽层。

第二节　空气调节负荷计算

空气调节负荷基本上由空气调节区负荷、新风负荷、系统附加负荷和系统漏风负荷等组成。由于新风负荷、系统附加负荷和系统漏风负荷与空气调节系统形式有关，此部分内容见本章第四节二、（二）空气调节系统负荷组成及附加，本节仅针对空气调节区负荷构成、负荷计算进行叙述。

一、空气调节区负荷基本构成

空气调节区负荷根据室内热量、湿量的得失，可

分为空气调节区夏季冷负荷、空气调节区冬季热负荷及空气调节区湿负荷。

1. 空气调节区夏季冷负荷

主厂房空气调节区夏季冷负荷，应根据空气调节区各项得热量进行逐项逐时转化计算得出，不可将空气调节区的得热量直接视为空气调节冷负荷。空气调节区得热量一般由以下各项构成：

（1）通过维护结构传入的热量。

（2）透过外窗进入的太阳辐射热量。

（3）人体散热量。

（4）照明散热量。

（5）设备、器具、管道及其他内部热源的散热量。

2. 空气调节区冬季热负荷

主厂房空气调节区冬季热负荷仅包括空气调节房间围护结构耗热量。设备、照明及人体散热量和水分蒸发引起的潜热量一般可不予计算。

3. 空气调节区湿负荷

主厂房空气调节区一般仅考虑由于人体散湿引起的湿负荷。

二、空气调节负荷计算原则

（1）在可研和初步设计阶段，空气调节区冷负荷可使用指标估算，施工图设计阶段夏季冷负荷应进行逐项逐时计算。

（2）主厂房区域具有外围护结构的空气调节房间，夏季应按非稳态传热方法逐项逐时计算冷负荷。室内设备、照明和人体的散热、散湿负荷可按稳态传热方法计算。

（3）主厂房区域空气调节系统冬季热负荷可按稳态传热方法进行计算，计算过程与冬季供暖热负荷的计算相同。但计算空气调节系统冬季热负荷时，室外计算温度应采用冬季空气调节室外计算温度。

（4）集中控制室、工程师室、电子设备室及继电器室等空气调节房间与邻室的温差超过 3℃时，应计算围护结构的冷、热负荷。

（5）主厂房区域的集中控制室、工程师室、电子设备室及继电器室等一般均采用全空气集中空气调节系统，并维持室内正压，不考虑渗入空气形成的冷负荷。

（6）主厂房区域空气调节系统冬季室内的余湿量可以不计算。对于室内相对湿度有一定要求的房间，空气调节系统应考虑设置加湿装置，以维持室内相对湿度在规定的范围内。

三、围护结构冷负荷

1. 建筑外围护结构冷负荷

建筑外围护结构冷负荷主要包括外墙、屋面、架空楼板、外窗（门）等围护结构冷负荷，在围护结构冷负荷计算过程中，应根据围护结构的蓄热特性（衰减和延时），将得热量转换成冷负荷。不同的围护结构由于蓄热性能的不同，其传热量的衰减和延时时间也不同，应分别进行计算。

（1）外墙、屋面和架空楼板传热逐时冷负荷。

1）通过外墙、屋面和架空楼板传热形成的逐时冷负荷计算式为

$$Q=KA(t_{w1}-t_n) \tag{3-7}$$

式中 Q——通过外墙、屋面和架空楼板传热形成的逐时冷负荷，W；

K——外墙、屋面和架空楼板的传热系数，W/（m²·℃）；

A——外墙、屋面和架空楼板的传热面积，m²；

t_{w1}——外墙、屋面和架空楼板的逐时冷负荷计算温度，℃，应根据空气调节区域围护结构的蓄热特性以及传热特性，由夏季空气调节室外计算逐时综合温度 t_{zs} 值，通过转换计算确定；

t_n——夏季空气调节室内设计温度，℃。

注：t_{w1} 的转换计算应根据围护结构的传热和蓄热特性（衰减和延迟），对太阳辐射和室外温度等的周期性作用进行计算，最终将得热量转化为冷负荷。由于此计算过程太过复杂，一般宜采用计算软件直接计算出房间的逐时冷负荷；也可根据 GB 50736—2012 中的外墙、屋面逐时冷负荷计算温度 t_{w1}，通过简化计算方法计算各项逐时冷负荷。

t_{zs} 计算式为

$$t_{zs}=t_{sh}+\frac{\rho J}{\alpha_w} \tag{3-8}$$

式中 t_{sh}——夏季空气调节室外计算逐时温度，℃；

ρ——围护结构外表面对于太阳辐射热的吸收系数，主厂房区域按 0.9 计算；

J——围护结构所在朝向的逐时太阳总辐射照度，W/m²，可根据 GB 50019—2015 确定；

α_w——围护结构外表面换热系数，W/（m²·℃）。

t_{sh} 计算式为

$$t_{sh}=t_{wp}+\beta\Delta t_r \tag{3-9}$$

$$\Delta t_r=\frac{t_{wg}-t_{wp}}{0.52} \tag{3-10}$$

式中 t_{wp}——夏季空气调节室外计算日平均温度，℃，可根据 GB 50019—2015 确定；

β——室外温度逐时变化系数，按表 3-7 取值；

Δt_r——夏季室外计算平均日较差，℃；

t_{wg}——夏季空气调节室外计算干球温度，℃，可根据 GB 50019—2015 确定。

表 3-7　　室外温度逐时变化系数 β

时刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β	−0.35	−0.38	−0.42	−0.45	−0.47	−0.41	−0.28	−0.12	0.03	0.16	0.29	0.40
时刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
β	0.48	0.52	0.51	0.43	0.39	0.28	0.14	0.00	−0.10	−0.17	−0.23	−0.26

2）对于室温允许波动范围大于或等于 1.0℃和小于或等于−1℃的空气调节区，通过非轻型外墙、屋面传热形成的冷负荷近似计算式为

$$Q=KA(t_{zp}-t_n) \tag{3-11}$$

式中　Q——通过非轻型外墙、屋面传热形成的冷负荷，W；

t_{zp}——夏季空气调节室外计算日平均综合温度，℃。

t_{zp} 计算式为

$$t_{zp}=t_{wp}+\frac{\rho J_p}{\alpha_w} \tag{3-12}$$

式中　J_p——围护结构所在朝向太阳总辐射照度的日平均值，W/m²，可根据 GB 50019—2015 确定。

由于主厂房区域空气调节房间的室温允许波动范围均大于或等于 1.0℃和小于或等于−1℃，外墙、屋面和架空楼板均具有较好的保温性能，且具有温度衰减大、延迟时间长的特点，因此主厂房区域空气调节房间的外墙、屋面均可采用上述的近似计算方法。

（2）外窗逐时冷负荷。外窗逐时冷负荷由两部分组成：一是通过温差传热形成的逐时冷负荷，二是透过外窗的太阳辐射得热量形成的逐时冷负荷。

1）外窗温差传热逐时冷负荷。通过外窗温差传热形成的逐时冷负荷计算式为

$$Q_t=KA(t_{w1c}-t_n) \tag{3-13}$$

式中　Q_t——通过外窗温差传热形成的逐时冷负荷，W；

K——整窗传热系数，W/（m²·℃），按表 3-8 取值；

A——整窗传热面积，m²；

t_{w1c}——外窗逐时冷负荷计算温度，℃，根据外窗的传热特性，由 t_{sh} 值通过转化计算确定；

t_n——夏季空气调节室内设计温度，℃。

注：Q_t 的转化计算一般采用计算软件直接计算出逐时冷负荷，也可按 GB 50736—2012 有关外窗传热的简化计算方法计算出外窗传热形成的逐时冷负荷。

简化计算时，t_{w1c} 可根据 GB 50736—2012 确定。

表 3-8　　常用整窗传热系数 K

玻璃				普通铝窗框 K=6.66W/（m²·℃）			断桥铝窗框 K=4.0W/（m²·℃）		塑钢窗框 K=1.9 W/（m²·℃）		
种类	结构	遮阳系数 C_s	K W/（m²·℃）	窗框窗洞面积比			窗框窗洞面积比		窗框窗洞面积比		
				15%	20%	30%	20%	30%	30%	35%	40%
单片	5mm 白玻	0.99	5.5	5.7	5.7	5.8	5.2	5.1	4.4	4.2	4.1
	5mm 绿玻	0.70	5.5	5.7	5.7	5.8	5.2	5.1	4.4	4.2	4.1
白玻中空	5mm+9A+5mm	0.89	3.0	3.5	3.7	4.1	3.2	3.3	2.7	2.6	2.6
	5mm+12A+5mm	0.89	2.8	3.4	3.6	4.0	3.0	3.2	2.5	2.5	2.4
	6mm+9A+6mm	0.87	2.9	3.5	3.7	4.0	3.1	3.2	2.6	2.6	2.5
	6mm+12A+6mm	0.87	2.8	3.4	3.6	4.0	3.0	3.2	2.5	2.5	2.4
Low-E 中空 Super-SE I	5mm+9A+5mm	0.60	2.0	2.7	2.9	3.4	2.4	2.6	2.0	2.0	2.0
	5mm+12A+5mm	0.60	1.9	2.6	2.9	3.3	2.3	2.5	1.9	1.9	1.9
	6mm+9A+6mm	0.60	2.0	2.7	2.9	3.4	2.4	2.6	2.0	2.0	2.0
	6mm+12A+6mm	0.59	1.8	2.5	2.8	3.3	2.2	2.5	1.8	1.8	1.8
Low-E 中空 Super-SE III	5mm+9A+5mm	0.49	2.0	2.7	2.9	3.4	2.4	2.6	2.0	2.0	2.0
	5mm+12A+5mm	0.49	1.9	2.6	2.9	3.3	2.3	2.5	1.9	1.9	1.9
	6mm+9A+6mm	0.48	2.0	2.7	2.9	3.4	2.4	2.6	2.0	2.0	2.0
	6mm+12A+6mm	0.48	1.8	2.5	2.8	3.3	2.2	2.5	1.8	1.8	1.8

注　1．9A 表示 9mm 厚的空气夹层，12A 表示 12mm 厚的空气夹层。

2．本表摘自国家建筑标准设计图集 09J908-3《建筑围护结构节能工程做法及数据》。

2）太阳辐射得热量逐时冷负荷。透过外窗的太阳辐射得热量形成的逐时冷负荷，应根据不同的遮阳情况分别进行计算。外窗的辐射负荷计算一般按如下几种遮阳情况进行：

a. 外窗无任何遮阳设施的辐射负荷。

b. 外窗只有内遮阳设施的辐射负荷。

c. 外窗只有外遮阳板的辐射负荷。

d. 外窗既有内遮阳设施又有外遮阳板的辐射负荷。

根据电厂布置特点，主厂房空气调节区基本上集中在集中控制楼内，而集中控制楼一般布置在汽机房靠锅炉侧的两炉之间，因此集中控制楼空气调节房间的外窗受太阳辐射的影响较少。另外，在建筑施工图设计 阶段，外窗本身的内、外遮阳设施一般都不考虑。

外窗的太阳辐射得热量形成的逐时冷负荷计算式为

$$Q_f=C_{clC}C_zD_{jmax}A_c \tag{3-14}$$

式中 Q_f——外窗的太阳辐射得热量形成的逐时冷负荷，W；

C_{clC}——透过无遮阳标准玻璃窗的太阳辐射冷负荷系数，可按 GB 50736—2012 确定；

C_z——外窗综合遮挡系数；

D_{jmax}——夏季透过标准玻璃窗的太阳总辐射照度最大值，按表 3-9 取值；

A_c——窗玻璃净面积，m^2，A_c 可根据表 3-8 中查得对应外窗的窗框窗洞面积比，反算窗玻璃与窗洞面积比，并根据实际窗洞面积计算得到。

C_z 计算式为

$$C_z=C_wC_nC_s \tag{3-15}$$

式中 C_w——外遮阳修正系数，可根据外窗朝向、锅炉房的封闭情况等因素确定，当围护结构朝向锅炉房，锅炉房为全封闭时，取 0.2；锅炉房为半封闭（燃烧器及其以下封闭）时，取 0.5；锅炉为露天布置时，取 0.8；当无建筑物遮挡时，取 1.0。

C_n——内遮阳修正系数，主厂房区域可不考虑，即 C_w =1.0。

C_s——玻璃修正系数，即玻璃遮阳系数，按表 3-8 取值。

表 3-9　夏季透过标准玻璃窗的太阳总辐射照度最大值 D_{jmax}

城市	北京	天津	上海	福州	长沙	昆明	长春	贵阳	武汉	成都	乌鲁木齐	太原
东	579	534	529	574	575	572	577	574	577	480	639	579
南	312	299	210	158	174	149	362	161	198	208	372	287
西	579	534	529	574	575	572	577	574	577	480	639	579
北	133	143	145	139	138	138	130	139	137	157	121	136
城市	石家庄	南京	厦门	广州	拉萨	沈阳	合肥	青岛	海口	西宁	呼和浩特	大连
东	579	533	525	524	736	533	533	534	521	691	641	534
南	290	216	156	152	186	330	215	265	149	254	331	297
西	579	533	525	524	736	533	533	534	521	691	641	534
北	136	136	146	147	147	140	146	146	150	127	123	143
城市	哈尔滨	郑州	重庆	银川	杭州	南昌	济南	南宁	兰州	深圳	西安	
东	575	534	480	579	532	576	534	523	640	525	534	
南	384	248	202	295	198	177	272	151	251	159	243	
西	575	534	480	579	532	576	534	523	640	525	534	
北	128	146	157	135	145	138	145	148	128	147	145	

注　本表摘自 GB 50736—2012。

2. 建筑内围护结构冷负荷

建筑内围护结构冷负荷主要包括内墙、间层楼板、内窗（门）、地面等围护结构冷负荷。建筑内围护结构冷负荷一般按温差稳定传热形成的冷负荷进行计算。

（1）当空气调节区与邻室的夏季温差大于 3℃时，通过内围护结构温差传热形成的冷负荷计算式为

$$Q=KA(t_{ls}-t_n) \tag{3-16}$$

$$t_{ls}=t_{wp}+\Delta t_{ls} \tag{3-17}$$

式中 Q——通过内围护结构温差传热形成的冷负荷，W；

K——内围护结构传热系数，W/（m^2·℃）；

A——内围护结构传热面积，m^2；

t_{ls}——邻室计算平均温度，℃；

t_n——夏季空气调节室内设计温度，℃；

Δt_{ls}——邻室温度差，℃，按表3-10取值。

表3-10　邻室温度差 Δt_{ls}

邻室散热强度（W/m^3）	Δt_{ls}（℃）
很少（如办公室和走廊等）	0～2
<23	3
23～116	5

（2）对于舒适性空气调节房间和有地面保温措施空气调节房间的地面冷负荷可不必计算，但对于工艺性空气调节房间有外墙，且室温允许波动范围小于或等于1℃和小于或等于−1℃时，宜计算距外墙2m以内区域温差传热形成的冷负荷，其计算式为

$$Q=KA(t_{wp}-t_n) \tag{3-18}$$

式中 Q——距外墙2m以内区域温差传热形成的冷负荷，W；

K——地面传热系数，无保温地面取 K=0.47W/（m^2·℃）；

A——距外墙2m以内区域的地面面积，m^2。

四、空气调节区其他冷负荷

1．设备冷负荷

（1）计算原则。主厂房空气调节区设备冷负荷主要是由电气、热控工艺系统的控制、监视等电子、电器设备向所在房间散热形成的，设备冷负荷即为设备散热量。这些设备的运行较为稳定，在计算空气调节系统冷负荷时可按稳定传热考虑，即每一计算时刻冷负荷相同。主厂房区域不考虑有设备湿负荷。

（2）设备散热引起的冷负荷。空气调节区内电器设备散热引起的冷负荷计算式为

$$Q_s=\sum_{i=1}^{p}S_i q_{a,i} \tag{3-19}$$

式中 Q_s——空气调节区内电器设备散热引起的冷负荷，W；

p——电器设备的种类数；

S_i——第 i 类设备的台数；

$q_{a,i}$——第 i 类设备的单台设备散热量，W。

注：对于 $q_{a,i}$ 的取值，一般应根据工艺专业的设备资料确定，当没有设备资料时，可根据房间性质的不同，按表3-11和表3-12查得设备散热量。

对于工程师室、办公室等可按表3-11中相关的设备散热量取值。

表3-11　办公设备散热量

名称及类别		单台散热量（W）		名称及类别		单台散热量（W）		
		连续工作	节能模式			连续工作	每分钟输出1页	待机状态
计算机	平均值	55	20	打印机	小型台式	130	75	10
	安全值	65	25		大型台式	213	100	35
	高安全值	75	30		小型办公	320	160	70
显示器	小屏幕（330～380mm）	55	0		大型办公	550	275	125
	中屏幕（400～460mm）	70	0	复印机	台式	400	85	20
	大屏幕（480～510mm）	80	0		办公	1100	400	300

对于集中控制室、电子设备室和继电器室等可按表3-11和表3-12中相关的设备散热量取值。

表3-12　电厂大屏幕、电子盘柜设备散热量

名称		散热量（W/块）	名称		散热量（W/块）
控制室大屏幕（以单块65in计，1in=25.4mm）		300	电子盘柜	锅炉220V AC电源柜	500
				锅炉DCS机柜	500
				锅炉MFT跳闸继电器柜	500
电子盘柜	公用部分DCS机柜	500		电气DCS机柜	500
	闭路电视机柜	500		汽轮机DCS机柜	550

续表

名　称		散热量（W/块）	名　称		散热量（W/块）
电子盘柜	辅网控制柜	500	电子盘柜	汽轮机 DEH 机柜	550
	炉管泄漏控制系统主控柜	500		给水泵汽轮机 MEH 机柜	550
	火灾检测控制柜	500		汽轮机 ETS 机柜	500
	锅炉飞灰含碳主控柜	500		汽轮机 TSI 机柜	500
	空气预热器火灾检测控制柜	500		给水泵 MTSI 机柜	500
	锅炉配电箱	300		给水泵 METS 机柜	500

当电器设备的类型和数量无法确定时，可根据电器设备功率密度指标，按式（3-20）推算空气调节区电器设备散热引起的冷负荷 Q_s，计算式为

$$Q_s=Aq_s \qquad (3\text{-}20)$$

式中 A——空气调节区面积，m^2；

q_s——电器设备的功率密度指标，W/m^2，按表 3-13 取值。

表 3-13　电器设备的功率密度指标 q_s

房间类型	q_s（W/m^2）
控制室、工程师室	50～60
电子室、继电器室、SIS 或 MIS 室等	100～130
办公室、交接班室	30～40
会议室	10～15

2. 室内照明冷负荷

（1）计算原则。在主厂房主要空气调节区内照明可认为是稳定的散热过程，因此，在计算照明冷负荷时可按稳定传热考虑。房间的照明总功率一般根据建筑照明设计所确定的照明密度指标和空气调节房间的使用面积推算。

随着我国照明灯具的飞速发展，能耗较大的白炽灯和荧光灯使用场合已逐步减少，白炽灯基本已退出历史舞台，取而代之的节能照明灯具 LED 灯已在电厂广泛地使用。一般来讲，LED 灯从节能效果看，白光 LED 灯的能耗仅为白炽灯的 1/10，节能灯的 1/4。

（2）室内照明散热引起的冷负荷。室内照明散热引起的冷负荷计算式为

$$Q_l=\Phi n_0 n_1 P \qquad (3\text{-}21)$$

式中 Q_l——由照明散热引起的冷负荷，W；

Φ——荧光灯整流器的安装系数，当整流器在室内安装时取值为 1.2，当整流器在吊顶内安装时取值为 1.0，对于 LED 灯具时此值为 1.0；

n_0——灯具通风系数，对于灯罩暗装在吊顶内时，当灯罩有散热小孔时一般取 0.5～0.6，当灯罩无散热小孔时取 0.6～0.8；

n_1——同时使用系数，一般根据房间的性质取值，对于控制室、电子室等工艺设备房间一般取 0.8，其他房间可取 0.5～0.8；

P——照明设备的安装功率，W，此值一般由照明工艺专业提供（以房间照明输入功率计），当没有资料时，可按照明功率密度指标和房间面积计算得到，照明功率密度指标按表 3-14 取值。

表 3-14　照明功率密度指标推荐值

房间类型	密度指标（W/m^2）	
	荧光灯	LED 灯
控制室	40	30
电子、电器等工艺设备室	30	15
工程师室	30	20
办公室、交接班室	20	20
会议室	40	30
走道	15	8

3. 人体冷负荷和散湿量

（1）计算原则。人体散热冷负荷包括人体显热冷负荷和人体散湿过程中形成的潜热冷负荷。根据主厂房主要空气调节房间的生产工艺系统及运行人员工作特点，人体散热量按成年男子进行计算；人员数量相对固定。因此，人体散热可以视为稳定散热过程。

（2）人体散热引起的冷负荷。人体散热（显热和潜热之和）引起的冷负荷计算式为

$$Q_m=nq_m \qquad (3\text{-}22)$$

式中 Q_m——人体散热引起的冷负荷，W；

n——计算时刻空气调节区内的总人数，一般按常驻人数计算；

q_m——成年男子平均散热量，W，按表 3-15 取值。

（3）人体散湿量。人体散湿量计算式为

$$W_p=0.001nw \qquad (3\text{-}23)$$

式中　W_p——人体散湿量，kg/h；

n——空气调节区内的总人数；

w——成年男子小时人体散湿量，g/h，按表3-15取值。

表3-15　成年男子平均散热量 q_m 和散湿量 w

项目	室温（℃）								
	20	21	22	23	24	25	26	27	28
显热（W）	104	97	88	83	77	72	66	61	56
潜热（W）	69	74	83	88	94	99	106	110	115
q_m（W）	173	171	171	171	171	171	171	171	171
w（g/h）	134	140	150	158	167	175	184	193	203

五、空气调节区综合负荷

1. 夏季空气调节区综合冷负荷

对于主厂房区域，夏季空气调节区综合冷负荷应为围护结构冷负荷 Q_b、设备冷负荷 Q_s、照明冷负荷 Q_l 及人体冷负荷 Q_m 之和。夏季空气调节区综合冷负荷计算式为

$$Q_{max}=(Q_b+Q_s+Q_l+Q_m)/1000 \qquad (3\text{-}24)$$

式中　Q_{max}——夏季空气调节区综合冷负荷，kW。

夏季空气调节区综合冷负荷，应逐项逐时计算围护结构冷负荷、设备冷负荷、照明冷负荷和人体冷负荷，即将房间各项冷负荷按同一计算时刻进行排列，并按同一计算时刻冷负荷逐项累加，得出各项逐时冷负荷的时间序列，并找出序列中同一计算时刻冷负荷的最大值，即为该空气调节综合冷负荷。

对于电厂空气调节房间，设备、照明和人体散热均可按稳定散热过程计算其冷负荷。

夏季空气调节区综合冷负荷是确定末端空气调节设备容量的主要依据之一，它与空气调节区的范围以及采用空气调节系统的形式有密切的关系。

当空气调节系统覆盖范围仅一个空气调节房间时，空气调节区综合冷负荷即为该房间最大冷负荷。

当空气调节系统覆盖范围有多个空气调节房间时，此时空气调节区综合冷负荷应根据空气调节系统的形式按如下条件确定：

（1）当空气调节房间设有由室温自动控制的末端风量或冷/热量调节装置时（一般为变风量集中空气调节系统），由于系统本身具有适应各空气调节房间冷负荷变化的调节能力，此时，空气调节区综合冷负荷宜按各空气调节房间逐时冷负荷的综合最大值确定。

（2）当空气调节房间不设由室温自动控制的末端风量或冷/热量调节装置时（一般为定风量集中空气调节系统，此种系统为电厂常用的设计方案），由于系统不能适应各空气调节房间冷负荷的变化，此时，空气调节区综合冷负荷可按各空气调节房间最大冷负荷的累加值确定。

（3）当区域（根据各工程具体情况确定）内各空气调节系统（包括集中空气调节系统、风机盘管系统、新风系统等）采用集中冷源时，冷源系统所负担的空气调节区综合冷负荷应按各空气调节房间逐时冷负荷的综合最大值确定。

2. 冬季空气调节区热负荷

对于主厂房区域，冬季空气调节区热负荷 Q'_{max} 主要是该空气调节区由围护结构耗热量形成的热负荷，当室内有较大稳定热源散热时，冬季计算热负荷应扣除此部分热源散热。照明散热和人体散热在计算冬季空气调节区热负荷时可不予考虑。

虽然集中控制室、工程师室、电子设备室及继电器室等工艺设备房间内设备散热较大，但考虑到在设备安装调试或机组检修期间，设备散热很小，为保证设备和人员对室内环境要求，此时空气调节系统仍然需要运行，因此，冬季空气调节区热负荷可不计设备散热。

3. 空气调节区湿负荷

由于电厂空气调节区主要考虑人员散湿量，因此空气调节区湿负荷可由式（3-25）计算得到，即

$$W_{max}=W_p/3600 \qquad (3\text{-}25)$$

式中　W_{max}——空气调节区湿负荷，kg/s；

W_p——人体散湿量，kg/h，见式（3-23），冬、夏季人体散湿量应按对应的室温条件确定。

4. 空气调节区热湿比（线）

热湿比（线）用 ε 表示，是指湿空气的比焓变化与含湿量变化之比，其单位为kJ/kg。ε 线在焓湿图中所表示的是，送入空气调节区的湿空气（为达到室内设计状态）在吸收室内余热、余湿过程中，湿空气比焓和含湿量的变化过程线。根据热、湿平衡原理，ε 也就是室内余热量和余湿量之比，其计算式为

$$\varepsilon=\Sigma Q/\Sigma W \qquad (3\text{-}26)$$

式中　ΣQ——室内余热量，kW；

ΣW——室内余湿量，kg/s。

室内余热量，在夏季就是空气调节区综合冷负荷 Q_{max}，在冬季就是空气调节区热负荷 Q'_{max}。室内余湿量，就是空气调节区湿负荷 W_{max}。在主厂房空气调节区，夏季 ε 值一般为正，冬季 ε 值一般为负。

在电厂主厂房区域，各空气调节区热湿负荷有以下特点：

（1）电子设备室、继电器室等工艺设备房间，在正常运行期间，设备散热量很大，且没有人体或其他散湿量，因此，室内 ε 值夏季为 $+\infty$，冬季为 $-\infty$（因为冬季不考虑设备和照明散热，室内只有围护结构向

外的热传递），室内 ε 线与等湿线平行。

（2）集中控制室、工程师室及就地控制室等房间围护结构传热、设备和照明散热形成的冷负荷较大，室内虽有人体散湿量，但人数较少，因此，室内 ε 线几乎与等湿线平行。

应当注意：当采用集中空气调节系统的空气调节区内设有多个空气调节房间时，应考虑到每个空气调节房间 ε 线的差异性。由于同一系统中各房间送风状态点是相同的，不同的 ε 线条件下，即便是在相同焓差的情况下，室内状态点也会不同。

5. 空气调节区送风量

（1）夏季空气调节区送风量。夏季空气调节区送风量计算式为

$$L_{ms}=3.6Q_{max}/(h_N-h_S) \tag{3-27}$$

式中 L_{ms}——夏季空气调节区送风量，kg/h；

Q_{max}——夏季空气调节区综合计算冷负荷，kW；

h_N——室内空气状态 N 点的比焓，kJ/kg，见图 3-1；

h_S——送风状态 S 点的比焓，kJ/kg，见图 3-1。

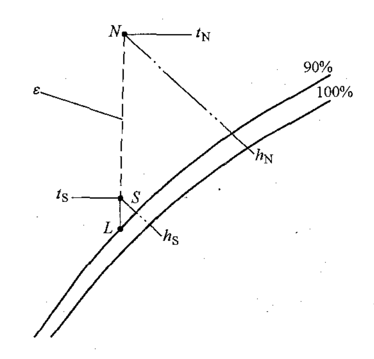


图 3-1　风量计算焓湿图

图 3-1 中，N 点为室内状态点，对应的温度为 t_N，对应的比焓为 h_N；S 点为送风状态点，对应的温度为 t_S，对应的比焓为 h_S；ε 为该空气调节区的热湿比线。一般先根据 ε 值，由 N 点作 ε 线，再根据送风温差要求，确定送风温度 t_S，并作 t_S 等温线，等温线与 ε 线的交点即为送风状态点 S。送风温差根据表 3-2 中室内温度允许波动幅度要求确定（对表中没有送风温差限定的房间，应按 GB 50019—2015 的规定执行），然后由 S 点作等湿线与相对湿度线（一般为 90%～95%）相交，得到空气冷却处理的机器露点 L。由 L 点到 S 点的温升即表示空气调节系统的送风附加温升或再热温升。当 L 点与 S 点的温差大于送风附加温升时，为避免再热所需热量，可在允许的范围内调整室内设计状态点（加大相对湿度）。

当空气调节区由多个空气调节房间组成时，空气调节区送风量应根据各房间的 ε 线和送风温差计算出各自的送风量，然后各房间的送风量之和即为空气调节区送风量。由于集中空气调节系统中各房间送风状态点是相同的，而各房间的室内状态点和 ε 线有可能不同，这会使室内空气的实际状态点与设计状态点产生偏差。一般宜将 ε 线相近的空气调节房间设于同一系统中，并以主要房间的温度、相对湿度作为室内温度、相对湿度控制的基准，这时其他房间的室内状态点可能会出现偏离，因此，在计算系统负荷时，系统的回风状态点应为各房间回风混合后的综合回风状态点。一般在主厂房集中空气调节系统中，各房间的 ε 线均相近，可以认为是相同的。

（2）冬季空气调节区送风量。冬季，空气调节区只有围护结构耗热（热量由内向外传递）形成的热负荷，在不考虑室内设备散热的情况下，其绝对值还是小于夏季状态。当保持与夏季相同的送风温差时，所需送风量小于夏季所需的送风量，因此，空气调节区送风量仅按夏季状态计算即可。

（3）空气调节区送风体积流量。空气调节区送风体积流量计算式为

$$L_{VS}=L_{ms}/\rho_0 \tag{3-28}$$

式中 L_{VS}——空气调节区送风体积流量，m^3/h；

ρ_0——标准状态（大气压为 1013hPa，温度为 20℃，相对湿度为 50%）下的空气密度为 $1.2kg/m^3$。

值得注意的是，空气密度与大气压和温度有关。一般空气调节系统空气温度变化范围很小，由温度变化引起的密度变化可忽略不计，但大气压则不同，空气密度随大气压增减而成比例增减，当由于海拔变化而引起的计算状态下大气压与标准状态下大气压相差较大时，应对空气密度进行修正。计算状态空气密度计算式为

$$\rho=1.2p_c/1013 \tag{3-29}$$

式中 ρ——计算状态空气密度，kg/m^3；

p_c——计算状态下的大气压力，hPa；

1013——标准大气压力，hPa。

6. 空气调节区系统冷（热）负荷

空气调节区系统冷（热）负荷与空气调节系统类型、空气调节设备配置及风管系统等条件有关。对于集中空气调节系统，系统冷（热）负荷应包括空气调节区冷（热）负荷、系统新风冷（热）负荷、系统漏风冷（热）负荷、系统附加冷（热）负荷等。其计算过程和空气调节系统负荷计算详见本章第四节。

7. 空气调节冷负荷计算软件简介

（1）空气调节冷负荷计算方法。空气调节冷负荷计算方法基本上有两种：一是冷负荷系数法（即传递函数法），二是谐波反应法。

1）冷负荷系数法。基于传递函数法（TFM）产

生的冷负荷系数来简化计算空气调节冷负荷，该方法考虑了建筑围护结构等蓄热体的吸热、蓄热和放热特性。传递函数法是将空气调节房间的围护结构以及室内空气视为一个热力系统，将太阳辐射和室外温度的变化视为作用在这一系统上的扰量，并作为系统的输入；将通过围护结构内表面的热流和温度以及室内温度等作为热力系统对扰量的响应，并作为系统的输出。

2）谐波反应法。其是以谐波法为基础，使用延迟和衰减等理念，对太阳辐射和室外温度等外扰的周期性作用，通过谐波函数计算房间的吸热、放热特性系数，最终将得热量转化为空气调节房间的冷负荷。谐波反应法计算空气调节房间冷负荷时，应用传递函数理论，根据围护结构外侧正弦温度波的衰减度和延迟度，以及围护结构内侧正弦温度波的衰减和时间延迟，求得围护结构的传热频率和吸热频率的响应，采用当量温差法计算。谐波反应法使得传热过程直观、易懂。

两种计算方法虽然从理论方法到模拟简化过程有所不同，但两者之间也存在相互关联。作为空气调节负荷计算，两者都能达到较高的计算精度，其结果具有较好的一致性，但也存在一定程度的缺陷。随着计算机技术的发展和模拟技术的应用，以传递函数法和谐波反应法为基础，采用空气调节系统负荷的动态计算方法，已成为一种发展趋势。目前国际上较为先进的空气调节负荷计算方法为热平衡计算法。

（2）空气调节负荷计算软件。目前，空气调节负荷计算软件很多，在电力设计行业常用的空气调节负荷计算的软件有天正软件、鸿业软件、华电源软件、开利软件等。各空气调节负荷计算软件均基于三个要素：一是计算过程区分对流得热量和辐射得热量，二是计算过程均考虑了围护结构蓄热引起的衰减和延迟特性对房间负荷的影响，三是计算过程均按计算日内逐时负荷来确定峰值负荷及其发生的时刻。虽然各计算软件基点相同，但在相同计算项目上，其计算结果却不尽相同，主要原因可能是计算模型的基础数据存在差异，如辐射热在室内各内表面所占的比例、围护结构蓄热性能等，对冷负荷计算结果简化处理模型产生差异所致。从理论上讲，负荷计算的准确度取决于软件的算法和模型的正确程度和简化程度。事实上设计人员的经验在建模过程中对一些基础数据输入的准确性对计算结果的影响是很大的。

因此，在应用空气调节负荷计算软件时，宜考虑如下因素：

1）找到计算负荷所需的可靠的数据和文件。

2）准确地输入基础数据，建立正确的计算模型。

3）正确运用实际数据转化为能被计算软件所使用数据的相关指导。

4）建全建筑材料的基础数据用于负荷计算。

5）选择友好的软件界面，提高数据输入的正确率。

第三节　空气处理与处理设备

在电厂空气调节系统设计中，空气处理过程主要有两个：空气热湿处理过程和空气净化处理过程。

典型的空气热湿处理过程通常有减焓去湿冷却、等湿降温冷却、等焓加湿冷却、等湿加热、等温加湿等热湿交换处理过程。空气处理设备在功能设置时，一般应根据室外气候条件、室内空气调节负荷的性质、室内参数及其精度要求、能源利用条件等因素，采用不同组合功能的空气处理设备。

主厂房空气调节系统中常用的空气净化处理有过滤净化处理和吸附净化处理两种方式，一般根据室内的空气质量要求和室外的环境状况确定。

一、空气热湿处理

典型的空气热湿处理过程、焓湿图及适用的空气处理设备见表 3-16。

表 3-16　典型的空气热湿处理过程说明及处理设备

空气热湿处理过程	焓湿图	空气热湿处理过程说明	适用的空气处理设备
减焓去湿冷却	d_1，1，t_1，h_1，2，t_2，h_2，d_2	空气处理过程线为 1→2； （1）被处理的空气从 1 点沿 1→2 空气处理过程线至机器露点 2，空气温度降低，含湿量减少，达到降温除湿的目的。 （2）1→2 两点的焓差，与处理风量乘积即为所需处理的冷负荷	（1）淋水室。 （2）表面式空气冷却器

续表

空气热湿处理过程	焓湿图	空气热湿处理过程说明	适用的空气处理设备
等湿降温冷却		空气处理过程线为 1→2： （1）被处理的空气从 1 点沿 1→2 空气处理过程线至需要的空气处理状态点 2（不到机器露点），空气温度降低，含湿量不变，达到等湿降温目的。 （2）1→2 两点的焓差，与处理风量乘积即为所需处理的冷负荷	（1）淋水室。 （2）表面式空气冷却器。 （3）间接水蒸发式空气冷却器（受室外气象条件的制约，一般在干燥地区有可能使用）
等焓加湿冷却		空气处理过程线为 1→2： （1）被处理的空气从 1 点沿 1→2 空气处理过程线至需要的空气处理状态点 2，空气温度降低，含湿量增加，但空气的比焓不变，达到等焓加湿降温目的。 （2）1→2 两点的温差，与处理风量乘积即为所需处理的显热冷负荷。 （3）1→2 两点的含湿量差，与处理风量乘积即为所需处理的加湿负荷	（1）淋水室。 （2）直接水蒸发式空气冷却器
等湿加热		空气处理过程线为 1→2： （1）被处理的空气从 1 点沿 1→2 空气处理过程线至需要的空气处理状态点 2，空气温度升高，含湿量不变，达到等湿升温目的。 （2）1→2 两点的焓差或温差，与处理风量乘积即为所需处理的热负荷	表面式空气加热器
等温加湿		空气处理过程线为 1→2： （1）被处理的空气从 1 点沿 1→2 空气处理过程线至需要的空气处理状态点 2，空气温度不变，含湿量增加，达到等温加湿目的。 （2）1→2 两点的含湿量差，与处理风量乘积即为所需处理的湿负荷	蒸汽加湿器（一般有干蒸气加湿器、电热或电极式加湿器）

注　焓湿图中：1 为空气处理过程的入口状态点；2 为空气处理过程的出口状态点；t_1 为空气处理过程的入口温度，℃；t_2 为空气处理过程的出口温度，℃；d_1 为空气处理过程的入口含湿量，g/kg 干空气；d_2 为空气处理过程的出口含湿量，g/kg 干空气；h_1 为空气处理过程的入口比焓，kJ/kg；h_2 为空气处理过程的出口比焓，kJ/kg。

淋水室空气处理设备能够以单一设备满足多种空气处理过程的需求，但由于不同的空气处理过程需提供不同的淋水温度来达到，因此淋水系统辅助设备和水温控制较为复杂，并且设备占地面积较大，电厂空气调节设计中一般不采用。其他空气处理设备只能完成单一的空气处理过程，某些空气处理过程需要多种空气处理设备组合才能完成。

间接水蒸发冷却的空气处理方式，一般在干燥地区，利用其空气湿球温度较低的特点，以二次空气侧在淋水蒸发吸热过程中产生的蒸发潜热，通过一、二次空气换热间壁换取一次空气侧空气的温降，实现等湿降温处理过程。

二、空气热湿处理设备

1. 总的设计要求

（1）空气热湿处理设备的容量。在可研、初步设计阶段，可按估算冷负荷确定；在施工图设计阶段，应按详细计算所需负荷予以复核，并应在设备招标规范书中规定设备容量附加的要求。容量附加一般可根据下列不同的空气热湿处理设备，在其设计负荷的基础上乘以附加系数：

1）空气换热器附加系数可按表 3-17 取值。

表 3-17　　空气换热器容量附加系数

空气换热器类型	空气冷却器			空气加热器		
	冷水型	冷剂直接膨胀型	直接、间接水蒸发型	热水型	蒸汽型	电热型
附加系数	1.15～1.20	1.10～1.15	1.20～1.30	1.20～1.30	1.10～1.15	1.10

2）空气加湿器附加系数可按表 3-18 取值。

表 3-18　　空气加湿器容量附加系数

空气加湿器类型	蒸汽加湿器		水加湿器	
	干蒸汽型	电热（极）型	高压微雾型	直接水蒸发型
附加系数	1.05～1.10	1.10～1.15	1.10～1.20	1.10～1.20

（2）空气热湿处理设备容量，当以制造厂设备样本选择时，应根据实际的设计工况进行复核和修正。

（3）一般情况下，空气热湿处理设备应由设计方提出设备入口和出口的空气参数（空气温度、相对湿度）、设备风量及设备余量等要求，并由设备供货方提供热工计算过程供设计方审核确认。各种形式的空气热湿处理设备的热工计算可见参考文献［6］。

（4）空气处理设备形式应根据所需的空气处理过程确定。一般情况下，同一工程中同类用途的空气处理设备形式宜统一。

（5）空气冷却和空气加热考虑合用换热器时，应符合下列要求：

1）当冷媒为冷水，热媒为蒸汽时，空气冷却和空气加热不应采用同一换热设备。

2）当空气加热与空气冷却的负荷相差很大时，宜分别设置空气冷却器和加热器。

3）当冷媒为冷水，热媒为低温热水（供水温度不大于 60℃）时，空气冷却和空气加热可以合用同一换热设备，但应分别以冷工况和热工况进行复核计算各自的换热面积，并取大值。

4）当空气加热与空气冷却合用同一换热设备时，冷、热水供回水温差不宜相差很大，一般情况下，冷水供回水温差为 5℃，热水供回水温差不宜大于 10℃。

2. 空气冷却设备

（1）表面式空气冷却器。表面式空气冷却器是空气调节系统设计中最常用的空气冷却设备，一般有冷水表面式空气冷却器（简称表冷器）和冷剂直接膨胀蒸发式空气冷却器（简称蒸发器）。表冷器的工作原理就是利用冷水与空气之间的温差进行间接热交换，将空气中的热量（包括显热和潜热）带走，达到冷却空气的目的；蒸发器的工作原理就是利用冷剂在低温状态下蒸发吸热的特性与空气进行间接热交换，将空气中的热量（包括显热和潜热）带走，达到冷却空气的目的。

以表冷器作为空气冷却的空气调节设备，常见的有组合式空气处理机组和整体式空气处理机组（柜式、吊装式等）；以蒸发器作为空气冷却的空气调节设备，常见的有屋顶空调机（整体式或组合式）、单元空调柜机和壁挂机、窗式空调机及多联空气调节系统的室内机等。

采用表面式空气冷却器时，应注意以下设计要点：

1）采用表面式空气冷却器时，空气与冷媒的流向应为逆向流动，即让冷媒的入口处于出风侧，出口处于进风侧。

2）采用表面式空气冷却器时，迎风面的空气质量流量宜为 2.5～3.5kg/（m^2·s），当迎风面的空气质量大于 3.0kg/（m^2·s）时，在空气冷却器的下游应设置挡水板。

3）采用蒸发器时，其蒸发温度应比空气出口干球温度至少低 3.5℃。在空气调节系统满负荷运行时，其蒸发温度不应低于 0℃，并采用低温保护措施；在低负荷运行时，应防止空气冷却器表面结霜，防止结霜的最低蒸发温度见表 3-19。

表 3-19　　防止结霜的最低蒸发温度　　（℃）

出蒸发器空气的湿球温度 t_{s2}（℃）	蒸发器的迎面风速（m/s）		
	1.5	2.0	2.5
7.2	0	0	0
10.0	0	0	0
12.8	0	−0.6	−1.0
15.6	−2.8	−3.3	−4.0

4）表冷器的冷水进口温度，应比空气的出口干球温度至少低 3.5℃，冷水的温升宜为 5～10℃，冷水进/出口温度通常为 7/12℃，水侧管内流速宜为 0.6～1.5m/s。

5）表冷器盘管的排数应通过计算确定，用于新回风混合空气和回风循环空气处理，一般宜为 2～6 排，不宜超过 8 排；用于新风处理，一般宜为 4～8 排，不宜少于 4 排。

6）选择表面式空气冷却器时，要充分考虑到冷凝水的排除，冷却器的接水盘应考虑有足够的积水容积，并应有一定的坡度，便于冷凝水的排除。

7）表面式空气冷却器安装应考虑便于冷凝水能顺肋片下流，以免肋片间积水而降低传热性能和增加空气阻力。

8）表面式空气冷却器下部应设滴水盘和泄水管，当冷却器重叠安放时，在两个冷却器之间设置中间滴水盘，并将上层滴水盘中的冷凝水用管道引入下层滴水盘。

（2）直接水蒸发式空气冷却器。采用直接水蒸发式空气冷却器时，应注意以下设计要点：

1）直接水蒸发冷却适用于干燥地区和允许室内相对湿度较高的场合。由于直接水蒸发冷却受气候条件、室内相对湿度的制约，在工程设计中，宜论证是否适合采用直接水蒸发冷却空气处理方式，以及采用何种形式的蒸发冷却设备。

2）由于直接水蒸发冷却空气调节系统的送风量较传统空气调节系统的送风量大，风感较强。一般在相同舒适条件下，室内温度的设定值可高于传统的空气调节系统。

3）合理地确定蒸发冷却的级数，以满足室内的相对湿度在适宜的范围内。

4）由于直接水蒸发冷却多为全新风运行工况，因此，室外空气采集口（进风口）的设置位置对室内空气品质的影响至关重要，尤其是在主厂房区域。

5）直接水蒸发冷却装置效率（DEC效率），宜按表2-58中划分的地区气象类型或相近城市的换热效率确定。

（3）间接水蒸发式空气冷却器。采用间接水蒸发式空气冷却器时，应注意以下设计要点：

1）当采用间接水蒸发式空气冷却器作为空气调节系统空气冷却设备时，应根据设计状态下的室内送风状态的空气设计参数，经焓湿图分析后确定其可行性，具体分析可见本章第四节。一般来讲，当室外空气的含湿量大于设计状态下室内送风空气的含湿量时，不应采用间接水蒸发冷却空气处理设备。

2）间接水蒸发冷却装置效率（IEC效率），宜按表2-58中划分的地区气象类型或相近城市的换热效率确定。

3）应根据二次空气量与一次空气量的比值计算确定二次空气量，二次空气量与一次空气量的比值宜取0.6～0.8。

4）宜根据淋水密度计算淋水量及蒸发水量，淋水密度取4.4×10^{-3}kg/（m·s）。

5）当经过蒸发冷却（包括间接和直接）处理后的空气状态，不能满足空气调节系统要求时，应设置表面式空气冷却器对空气进一步进行处理。

3．空气加热设备

（1）空气加热设备选择原则。

1）主厂房空气调节系统，一般宜采用以热水或蒸汽为热媒的空气加热器。空气加热器的热媒可按表3-20确定。

表3-20　空气加热器热媒的选择

室温允许波动范围（℃）	新风预热器、系统加热器	室温调节加热器
>+1，<−1	高、低压蒸汽或热水	－－
±1	高、低压蒸汽或热水	低压蒸汽或热水
>−1，<+1	低压蒸汽或热水	电加热器

注　1．在无蒸汽或热水热源的地方，若采用电加热器比设专用锅炉经济合理时，空气调节系统的新风预热器、系统加热器和室温调节加热器应采用电加热器。
2．本表摘自参考文献［1］。

2）当空气调节系统中某些房间的温度需要单独进行控制，且安装和选用热水或蒸汽加热装置有困难或不经济时，室温调节加热器可采用电加热器。

3）对于工艺性空气调节系统，当室温允许波动范围大于−1℃和小于+1℃时，室温调节加热器宜采用电加热器。

4）当新风与回风混合后的空气比焓不大于10.5kJ/kg时，应设置新风预热器，其目的就是让新风与回风混合的过程线在焓湿图中湿空气的饱和曲线上方。一般新风预热器的出风温度不应低于5℃。

5）当新风预热器的热媒为热水时，必须考虑新风预热器的防冻措施，防冻措施应包括：新风入口设置密闭保温型风阀，其启闭应与风机联锁；新风预热器水管回路中不宜设置调节阀，并且在出水管道上宜设置回水温度低限保护装置。

6）严寒地区新风预热应采用蒸汽加热或电加热。

（2）空气加热设备的设置。

1）当采用以热水或蒸汽为热媒的空气加热器时，应考虑以下措施：

a．空气加热器的热媒参数（温度、压力）应稳定。

b．对于蒸汽型空气加热器，蒸汽入口的蒸汽压力应不低于30kPa。

c．在计算空气加热器压力损失时，空气侧应考虑1.1的安全系数；对水侧应考虑1.2的安全系数（仅对热水空气加热器而言）。

d．当热水空气加热器的供水温度低于100℃时，管内水流速宜为0.6～1.6m/s，当供水温度高于或等于100℃时，管内水流速宜为0.2m/s。

e．对于冷热两用的空气换热器，热媒应采用热水，且供水温度不宜高于60℃。

f．空气换热器支撑应与管道支撑分开，避免将管道的荷载作用在换热器上。

g．蒸汽加热器的供汽管应从蒸汽干管的上部接出，以避免蒸汽干管中的凝结水随蒸汽进入加热器，

加热器的接口形式应采用法兰连接。蒸汽加热器的凝结水宜回收利用。

h. 蒸汽加热器的凝结水管路上应安装疏水器，疏水器前应设置过滤器，疏水器前后须安装截止阀，疏水器后安装检查管。

i. 蒸汽加热器多台并联安装，当其型号、容量和压力损失均不同时，宜分别设置疏水器；当各台加热器的型号、容量和压力损失均相同，且受同一个自动调节阀控制时，疏水器可以共用。

j. 热水空气换热器按空气流动方向，可以并联或串联设置。通常，当通过的空气量大时，宜采用并联布置；当要求较大空气温升时，宜采用串联布置。

2）当采用电热形式的空气加热器时，应考虑如下措施：

a. 电加热器的配用功率，应按不同的加热方式和调节方式计算确定。

b. 电加热器作为空气调节系统的新风预热、系统加热和末端室温调节加热时，应采用管式电加热器。

c. 电加热器作为系统加热器应安装在空气处理机组内，作为室温调节加热器宜安装在空气调节风管内。

d. 安装电加热器的部分金属管段应可靠地接地。

e. 电加热器前后 800mm 范围内的风管，应采用不燃保温材料进行保温。

f. 电加热器应设计超温保护装置、空气断流保护装置及与风机联锁保护装置。

g. 电加热器的供电电压应稳定，当电压波动幅度大于+10%和小于−10%时，应采取稳压措施。

4. 空气除湿设备

空气除湿的方法很多，如通风除湿、升温除湿、冷却除湿、固体除湿等。在主厂房空气调节系统设计中，常用的除湿方法就是利用表面式空气冷却器在冷却空气的同时进行除湿处理，没有必要设置专门的除湿设备。

5. 空气加湿设备

（1）空气加湿设备选择原则。空气调节系统的空气加湿处理主要应用于干燥地区和冬季运行工况。空气加湿有多种方法，在实际工程中常用的方法有蒸汽加湿（包括干蒸汽加湿器和电热、电极式加湿器）、直接水蒸发加湿（包括高压喷雾加湿器、高压微雾加湿器及水喷淋湿膜加湿器等）。选择空气加湿器应注意下列事项：

1）干蒸汽加湿系统简单、易于控制，蒸汽加湿效率高（可接近 100%相对湿度），其空气处理过程接近于等温加湿，因此，当现场有合适的、可靠的蒸汽来源时，可采用此方法。但在电厂，由于热力系统的蒸汽凝结水都经加药（如联氨）处理，并且蒸汽参数（温度、压力）较高，因此在电厂空气调节系统中不应直接利用热力系统的蒸汽作为空气调节系统的加湿源。

2）当现场没有合适而可靠的蒸汽来源时，可采用高压喷雾加湿器、高压微雾加湿器、水喷淋湿膜加湿器等对空气进行加湿处理。

3）高压喷雾加湿器，由于系统简单、价格便宜，在很多相对湿度控制要求较低的场合被广泛使用。但高压喷雾加湿器加湿效率较低（约为 35%），考虑到节水要求，在加湿量较大的场合不宜采用。

4）高压微雾加湿器通过高压柱塞泵将水加压（一般压力为 0.6～0.8MPa）并传送到喷嘴，以小于 15μm 的微雾粒子对空气加湿，加湿效率可达 80%以上，但此系统较高压喷雾系统复杂，且投资相对较高。

5）水喷淋湿膜加湿器适用于较大加湿量的场合，如全新风工况时加湿。加湿器应采用使用周期长、不宜产生微生物、结构强度及耐腐蚀性能优良、有阻燃特性的湿膜材料。

6）电热（极）式加湿器具有连续调节的功能，且控制精度较高，一般在恒温恒湿空气调节系统中应用较广，但用电量大，一次投资和运行费用都较高，在加湿量较大的场合（如空气调节系统在全新风工况下运行），不应采用电热（极）式加湿器。

7）当采用以水作为加湿源时，其水质宜采用软水，当加湿水源硬度较高时，应采用自动除垢装置对加湿水源进行除垢处理。

8）选择高压喷雾加湿器、高压微雾加湿和直接水蒸发加湿时，其加湿处理过程会伴有空气的温降，当空气需要加热时，此加热器需要负担此部分由于温降引起的热负荷。

9）空气加湿器宜设置在空气处理机组内，不宜在风管中设置。

（2）加湿器的设置。

1）采用干蒸汽加湿器应符合下列要求：

a. 布置加湿器时，应尽量使蒸汽与空气能迅速而良好地混合，并应防止喷出的蒸汽与冷壁面接触而冷凝。

b. 加湿段宜布置在系统加热器段与风机段之间，并应尽可能远离风机入口，且应采用逆喷方式，当加湿器在风管内安装时，应设于消声器上游，并处于风管断面中心部位。

c. 加湿器宜水平安装，当采用多组扩散管布置时，扩散管布置应均匀，且喷管长度不应小于气流宽度的 90%。

d. 接至加湿器的供汽管道，必须从供汽干管的顶部引出，接管长度越短越好。

e. 在加湿器蒸汽入口上游的管道上，应依次（顺汽流）安装隔断阀、过滤器和自动调节阀。

f. 当蒸汽压力、温度高于加湿器的工作压力和温

度时，应设置减温减压阀，减温减压阀的前后均需安装隔断阀、压力表等。

2）采用高压喷雾或高压微雾加湿器应符合下列要求：

a．高压喷雾或高压微雾加湿段应满足产品要求的蒸发吸收距离。

b．高压喷雾或高压微雾加湿段应设置挡水板及排水装置。

c．高压喷雾或高压微雾主机供水量和喷嘴出雾量不应小于总加湿量的 1.25 倍。

d．采用高压微雾加湿时，应采用专用微雾挡水板。

3）采用电热（极）式蒸汽加湿器应符合下列要求：

a．电源上应安装电流表，以便调整水位和防止过载，使用前应标定容器内的水位(根据最大允许电流)。

b．宜设供水专管，并装置一个启闭用的电磁阀和手动阀门。

c．采用电热（极）式蒸汽加湿器时，必须可靠接地。

d．电极式蒸汽加湿器不得使用纯水，当使用自来水时，宜配置自动除垢装置。

e．必须根据所需的加湿量调整溢水管的高度，以减小湿度的波动幅度。

三、空气过滤净化

1．空气调节系统污染物分类

空气调节系统所涉及的污染物一般指存在于系统中固体、液体、气体和有机物等大气污染物。大气污染物的分类见表 3-21。

表 3-21　　大气污染物的分类

分类	名称	粒径（μm）	说明
固体	粉尘	＜100	由于自然或人为过程（如风化、破碎）造成的固体粒子。会在静电作用下凝聚，并重力沉降
	烟尘	＜1	因升华或蒸汽冷凝和随后的融合所组成。这些在常温常压下会冷凝成固态
	黑尘	＜1	部分燃烧形成的固态、液态、气态粒子的混合物。要从气流中清除较难
液体	水雾、烟雾	＜100	在常温常压下为液态的悬浮物，大小一般为 15～35μm
	雨滴	500～5000	
	气溶胶		指气体中未稳定分散的细小液态和固态粒子。他们可能凝并，或在重力、惯性作用下沉降在某些表面
气体	水汽、气体		在常温常压下为气相。水汽可通过冷凝除去，气体则不能
有机物	有机粒子	0.2～5	细菌
		5～150	花粉
		1～20	真菌
		＜1	病毒

注　本表摘自参考文献［6］。

对于主厂房空气调节系统而言，污染源有两个：一是受室外环境影响的由空气调节系统新风带入的污染物，二是由室内人员、建筑材料、工艺过程引起的由系统回风带入的污染物。因此，为确保室内人员的健康工作环境，必须对空气进行过滤净化处理。

2．空气过滤器

（1）过滤作用与原理。空气过滤器是空气调节系统中常用的空气过滤净化装置，空气过滤器所用的滤料主要有玻璃纤维、合成纤维及由这些纤维制成的滤纸（布）等。其作用原理见表 3-22。

表 3-22　　滤料的过滤作用与原理

序号	作用	原理	说明
1	重力作用	尘粒在纤维间运动时，在重力作用下沉降在纤维表面上	只对较大粒径的尘粒（≥5μm）起作用
2	惯性作用	尘粒随气流运动，逼近滤料时，在惯性作用下，尘粒来不及随气流改变流向而继续向前运动，与滤料撞击而附着于纤维上面	惯性作用的大小，随尘粒粒径和过滤风速的增加而增加
3	扩散作用	气体分子作布朗运动时，空气中的细微尘粒（＜1μm）随之运动，当尘粒围绕纵横交错的纤维表面作布朗运动时，在扩散作用下，有可能与极细微的纤维接触而附着于纤维上面	尘粒越小，过滤风速越低，扩散作用就越明显
4	接触阻留作用	对非常小的（亚微米级）尘粒，可以近似地认为是没有惯性的，它随气流流线运动，当流线紧靠细微的表面时，尘粒与纤维表面接触而被阻留下来	接触作用往往与惯性作用同时存在，或在低速时，与扩散作用同时存在。尘粒尺寸大于纤维网眼而被阻留的现象，称为筛滤作用
5	静电作用	含尘空气经过某些纤维时，由于气流摩擦，可能产生电荷，从而增加了吸附尘粒的能力	静电作用与纤维材料的物理性质有关

注　本表摘自参考文献［6］。

（2）过滤效率。空气过滤器的过滤效率是衡量过

滤器捕集灰尘能力的指标。过滤效率一般采用以下几种方法来表示：

1）当以质量浓度来计量时，效率为计质效率。

2）当以计数浓度来计量时，效率为计数效率。

3）以其他物理量作相对应的计量时，效率为比色效率或浊度效率。

过滤效率常用过滤器入口和出口空气含尘浓度的差值与入口空气含尘浓度之比的百分数表示。过滤效率计算式为

$$\eta=(C_1-C_2)/C_1\times100\% \tag{3-30}$$

式中 η——过滤效率；

C_1——过滤器入口空气含尘浓度，mg/m^3；

C_2——过滤器出口空气含尘浓度，mg/m^3。

空气过滤器还有2个重要性能指标：阻力和容尘量。我国有关空气过滤器标准有两个：一个是专门用于洁净室的高效空气过滤器标准，即GB/T 13554—2008《高效空气过滤器》；另一个是用于通风、空气调节系统的粗效到亚高效空气过滤器标准，即GB/T 14295—2008《空气过滤器》。一般电厂空气调节系统过滤器选择按GB/T 14295—2008。

电厂空气调节系统常用空气过滤器的结构形式和滤料有：初效过滤器一般为平板式、平板稀褶式或袋式，滤材一般为无纺布或玻璃纤维；中效过滤器一般为袋式和V形蜜褶式，滤材一般为无纺布、玻璃纤维和聚丙烯滤料。

空气过滤器按过滤效率分成9个性能类别分级，各分级过滤器的过滤效率、阻力及过滤风速等标准值见表3-23。

表3-23　过滤器额定风量下的性能指标

性能类别	代号	性能指标				
		迎面风速（m/s）	粒径（μm）	额定风量下的效率 E（%）	额定风量下的初阻力 Δp（Pa）	额定风量下的终阻力 Δp（Pa）
亚高效	YG	1.0	≥0.5	$99.9>E\geq95$	≤120	240
高中效	GZ	1.5		$95>E\geq70$	≤100	200
中效1	Z1	2.0		$70>E\geq60$	≤80	160
中效2	Z2			$60>E\geq40$		
中效3	Z3			$40>E\geq20$		
初效1	C1	2.5	≥2.0	$E\geq50$	≤50	100
初效2	C2			$50>E\geq20$		
初效3	C3		标准人工尘计重法	$E\geq50$		
初效4	C4			$30>E\geq10$		

注　本表摘自GB/T 14295—2008。

3．空气过滤器设置原则

空气净化是空气调节系统设计中的一项重要内容。对主厂房和集控楼空气调节系统而言，主要对象是各种电子仪表和计算机设备，这些电子设备和仪表对室内的洁净度有一定的要求。另外，主厂房区域空气调节系统，由于周围环境较差，设置良好的空气净化装置是空气调节系统必不可少的。因此，选择空气净化设备时，应满足下列设计原则：

（1）空气调节系统的室外新风和室内回风，在进入空气热湿处理设备前，必须先经空气过滤处理。

（2）对于以降温通风为主要目的的一般空气调节系统，如果周围环境不是很差，可采用初效空气过滤净化设备（不低于C2级）；对于主厂房区域的集中控制室、电子设备室、继电器室、计算机室等空气调节系统应采用初、中效两级空气过滤净化设备，初效宜不低于C2级，中效宜不低于Z1级。

（3）空气通过过滤器时，其过滤风速宜为0.4～1.2m/s，一般情况下，过滤器迎风面风速应小于或等于2.5m/s，初效过滤器在额定风量下的初阻力宜小于或等于50Pa，终阻力不大于100Pa；中效过滤器在额定风量下的初阻力宜小于或等于80Pa，终阻力不大于160Pa。

（4）按空气的流向，在过滤器的上游和下游应设置压差显示、报警仪表，以便能及时地更换过滤器，确保空气调节房间内的空气质量。

（5）空气过滤器应易更换，滤料应易清洗，且对人体无害。滤料第一次清洗后，效率应不低于原指标的85%，阻力不高于原指标的115%。

（6）当空气中含有异味气体时（用过滤型空气净化设备无法去除），宜采用吸附型空气净化设备，并与过滤型空气净化设备串联设置。

（7）空气过滤器适应的空气含尘浓度和容尘量如下：

1）初效过滤器适应的空气含尘浓度：0.1～7mg/m^3；容尘量：500～2000g/m^2。

2）中效过滤器适应的空气含尘浓度：0.1～0.6mg/m^3；容尘量：300～800g/m^2。

（8）空气过滤器的容尘量与其阻力关系密切，在相同终阻力条件下，容尘量越大越好。一般空气过滤器实际容尘量指标不得小于产品标称容尘量的90%，并应由制造厂给出容尘量与阻力关系的曲线。

（9）空气过滤器性能指标应满足GB/T 14295—2008中的制造标准。

四、噪声控制

1．空气调节系统的噪声来源

空气调节系统的噪声来源主要有两类：一是来自

风机运转时的空气动力噪声和机械噪声，其中以空气动力噪声为主；二是空气在管内的紊流和振动所引起的气流噪声。

风机噪声值的大小及特性取决于风机的结构形式、风速、流量、风压等因素，一般根据风机频率特性，采用倍频带的声功率级来评价。

气流噪声值的大小取决于风管的结构形式、风速，一般采用声功率级来评价。

2. 室内噪声控制标准

主厂房集中控制室、电子设备室等空气调节系统噪声控制设计应满足DL/T 5035—2016规定的室内噪声限值要求。

集中控制室、单元控制室和工程师室等有人值守的空气调节房间室内噪声限值不应大于60dB（A）；电子设备室、继电器室和SIS室等空气调节房间室内噪声限值不应大于70dB（A）。

3. 设计原则

（1）空气调节系统的消声和隔声设计应根据空气调节房间的噪声控制标准、噪声和振动的频率特征及传播方式，通过计算确定。当自然衰减不能达到允许噪声标准时，应设置消声设备或采取其他消声措施。

（2）设备本身的基本噪声超过空气调节房间对噪声的要求时，设备不应直接设于空气调节房间内；当其设于该房间的吊顶内时，应采取可靠的隔声措施来保证室内的噪声要求；噪声要求严格的房间内不应设置通风、空气调节设备。

（3）噪声或振动较大的设备，应设于专用的机房内，并采取必要的隔声、减振、吸声及消声措施，设备的进出口（与管道连接的接口）应采用柔性接头。

（4）设于室外的通风空气调节设备，应根据周围环境的要求进行适当的隔声处理。

（5）空气调节通风设备的选择应符合下列要求：

1）应选择高效率、低噪声设备。

2）空气调节系统风量及风阻力不宜过大，空气调节机组出风口处的噪声声功率级，应不大于85dB(A)。

（6）风管及附件的设计，应符合下列规定：

1）风管内的风速设计应有所控制，见表3-24。

表3-24　风管内的风速要求

室内允许噪声级dB（A）	主管风速（m/s）	支管风速（m/s）
25～35	2～4	≤2
35～50	4～7	2～3
50～65	6～9	3～5
65～85	8～12	5～8

2）圆形风管弯管的曲率半径（以中心线计）见表3-25。

表3-25　圆形风管弯管的曲率半径

弯管直径D（mm）	80～220	220～800	800～2000
曲率半径R（mm）	≥1.5D	D～1.5D	D

3）矩形风管弯管的曲率半径，可采用一个平面边长的内外同心弧形弯管；若采用其他形式的弯管，当其平面边长大于500mm时，宜设置弯管导流叶片。

4）支风管与主风管连接时，应有相当于内半径100mm以上的圆弧或45°倾斜过渡，不应垂直连接。

5）风管断面的气流流速应均匀，风管内气流方向的变化应较为稳定、顺畅。

4. 消声与隔声设计

消声与隔声是噪声控制的主要手段。消声主要是利用消声设施减少通风、空气调节系统内部产生的噪声通过管道系统向其他区域传播，隔声主要是利用具有吸声功能围护结构降低设备本体噪声对其周围环境影响。

电厂空气调节系统噪声控制所涉及的范围主要是控制室、电子设备室、工程师室、办公室、会议室及实验室等具有噪声限值的房间。由于这些房间的空气调节往往都是采用集中空气调节系统，空气调节设备均设于专用的机房内，一般情况下，空气调节设备本体的噪声通过房间的围护结构传向其他区域传播的可能性较小，因此，通风、空气调节系统的噪声控制主要任务就是通风、空气调节系统的消声设计。

通风、空气调节系统的消声措施一般应根据噪声的大小和频率，采取不同的消声措施，如管路系统的自然衰减、阻性消声器、抗性消声器和共振消声器等。

（1）管路系统的再生噪声和自然衰减。管路系统中气流通过直管段、弯管、旁通管、变径管、风阀及风口等部件时，由于受气流的冲击发生湍振或气流变向发生涡流，从而产生气流再生噪声并随气流在管内传播，同时噪声也会沿途自然衰减。一般情况下，对于直风管，当风速小于5m/s时，可不计算气流再生噪声；当风速大于8m/s时，可不计算噪声自然衰减。

主厂房集中空气调节系统：主风管的气流速度一般为6～9m/s，可不计算噪声自然衰减；末端支风管的气流速度一般为3～5m/s，可不计算气流再生噪声。

管路系统直管段、弯管、旁通管、变径管、风阀及风口等部件的气流再生噪声和噪声自然衰减计算可见参考文献［6］。

（2）消声器消声。利用消声器消声是通风、空气

调节系统常用的消声手段。消声器一般可分为阻性消声器和抗性消声器两大类，其中抗性消声器又可派生出共振消声器（包括微穿孔板消声器）。阻性消声器一般适用于消除较高频噪声，而抗性消声器一般适用于消除较低频噪声。

消声器的种类很多，在通风、空气调节系统中常用的消声装置有ZP型片式消声器和ZW型消声弯管。这两种消声器实际上是复合型消声器，即具有阻性消声和抗性消声功能的消声器。采用这两种消声器基本上能满足电厂通风、空气调节系统的消声设计。

根据国家建筑标准设计图集97K130-1《ZP型消声器、ZW型消声弯管》给出了ZP型片式消声器和ZW型消声弯管的消声性能。

1）ZP型片式消声器。ZP型片式消声器消声性能见表3-26，ZP型片式消声器结构如图3-2所示。

表3-26 ZP型消声器（每米长度）消声特性

f（Hz）	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL（dB）	7	17	22	22	15	15	12

注 f为噪声频率，ΔL为消声量。

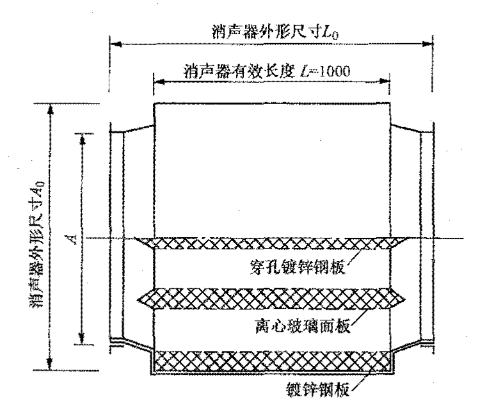


图3-2 ZP型消声器结构图

2）ZW型消声弯管。ZW50、ZW100型消声弯管消声性能见表3-27、表3-28，ZW-50型消声弯管结构如图3-3所示。

表3-27 ZW50型消声弯管消声特性

f（Hz）	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL（dB）	7	15	15	12	9	8	8

注 ZW50中50表示空腔高度为50mm。

表3-28 ZW100型消声弯管消声特性

f（Hz）	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL（dB）	10	18	20	14	10	8	8

注 ZW100中100表示空腔高度为100mm。

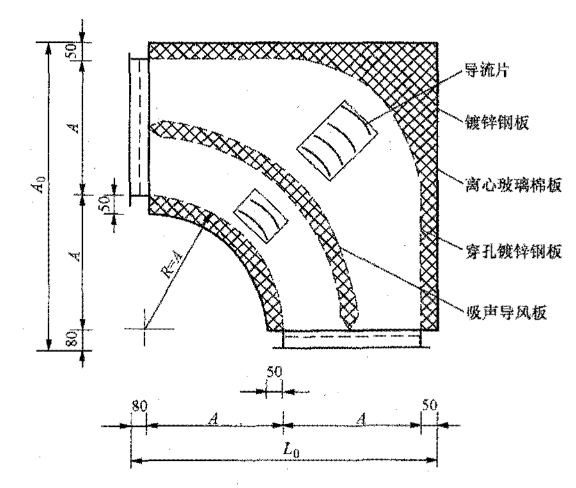


图3-3 ZW50型消声弯管结构图

注：图中尺寸"50"为空腔高度。若消声弯管为ZW100型，则空腔高度为"100"，其他结构尺寸同ZW50型。

根据表3-26～表3-28，可以得到对应频率下的消声量，并根据通风、空气调节系统的所需消声量，确定消声器的长度或消声弯管的个数。

（3）消声器选用。通风、空气调节系统的消声设备的选用应遵循以下原则：

1）对于设备噪声应根据设备噪声源的实际声功率级资料选择消声设备。

2）消除高频噪声应采用阻性消声器和消声弯管。

3）消除中低频噪声应采用抗性消声器和消声静压箱。

4）当要求消除较宽频谱范围的噪声时，应采用阻抗复合消声器。

5）有高温、高湿、洁净要求宜采用微穿孔消声器。

6）消声器选择还应考虑其防火、防飘散、防霉等性能。

7）消声器内空气流速宜小于6m/s；确有困难时，不应超过8m/s。

8）对于噪声控制要求较高的空气调节房间，应计算消声器的气流噪声，并尽量降低管道及风口的气流速度。

第四节 空气调节系统选择

一、空气调节系统选择原则

主厂房空气调节设计首先应以电厂安全运行为主要目的，即为保证某个或多个封闭区域内工艺设备的安全运行条件和运行人员的健康工作环境。在满足这一要求的前提下，还应根据空气调节区的范围、空气

调节房间的性质和位置、空气调节系统的投资和运行成本、使用寿命及维护管理等因素，合理地进行空气调节系统划分，并确定各空气调节区的空气调节系统类型、冷热源形式和空气调节设备配置。

1. 系统划分

随着电厂单机容量的增大及自动化水平的提高，众多的机、炉、电监控设备布置于一个相对集中的区域（如集中控制楼）已成为目前大中型电厂的一种布置模式被广泛地采用。因此，在主厂房区域内，布置有不同使用功能和设备特性的房间，如集中控制室（或单元控制室）、工程师室、控制辅助房间（值长室、交接班室、会议室、休息室）、热控电子设备室、电气继电保护室以及各电厂辅助系统的就地控制室等。

（1）系统划分原则。一般情况下，主厂房区域空气调节系统可根据如下条件进行系统划分：

1）按空气调节房间的使用功能（即舒适性空气调节和工艺设备性空气调节）进行系统划分。

2）室内设计基数（包括温度、相对湿度和洁净要求）。将室内空气调节设计基数相同或相近的空气调节区划分为一个系统。

3）负荷特性。在某一时段出现分别需要供冷和供热时，不应划分为同一系统。

4）使用时间不相同的空气调节区，宜分别设置空气调节系统。

5）对于噪声标准要求不同的空气调节区，以及有消声要求和产生噪声的空气调节区，宜分设空气调节系统，当必须划分为同一系统时，应作局部消声处理。

（2）主厂房区域集中空气调节系统设置。主厂房区域集中控制室区域和电子设备室区域的集中空气调节系统设置，一般可根据空气调节性质、布置条件采用下列方式设置：

1）宜将以舒适性空气调节为主的集中控制室（或单元控制室）、工程师室及其辅助房间（值长室、交接班室、会议室、休息室）等设于同一集中空气调节系统中，并以保证人员健康为主要目的进行空气调节设计。

2）宜将电子设备室、继电器室及其辅助房间等作为相同性质的空气调节房间，并根据建筑布置位置、系统风量大小（建议单个系统风量不宜超过60000m^3/h），可合设或分设集中空气调节系统。

3）对于一些辅助工艺系统的控制室（如化水取样设备间、精处理控制室、暖通控制设备室等），由于布置较分散，一般采用各自独立的空气调节系统。

2. 系统类型选择

根据上述空气调节系统的系统划分原则及目前我国大多数电厂主厂房空气调节系统应用状况，主厂房空气调节系统根据其服务区域的使用功能、工艺设备性质、区域范围、布置位置、冷热源状况等，基本上采用下述几种系统类型：

（1）集中控制室及其辅助房间，一般采用集中的、全年运行的全空气一次回风空气调节系统，室内设计参数按舒适性空气调节要求设计。

（2）热控电子设备室及其辅助房间和电气继电保护室及其辅助房间，一般采用集中的、全年运行的全空气一次回风空气调节系统，室内设计参数按工艺性空气调节要求设计。

（3）主厂房内辅助系统的控制室、化水取样设备间等独立布置的空气调节房间，一般采用独立的全空气一次回风空气调节系统。

（4）当主厂房区域设有较大范围的办公用房时，其空气调节系统一般采用风机盘管+新风处理的空气调节系统或多联空气调节系统+新风处理的空气调节系统。

（5）主厂房集中空气调节系统应采用低速系统，风管内的最大风速应根据空气调节房间噪声要求来确定，一般情况下主风管的风速不宜大于10 m/s。

主厂房空气调节系统的空气冷却处理方式，一般采用表冷器或蒸发器，只有在厂址气象条件合适时，可采用直接水蒸发冷却或间接水蒸发冷却和直接水蒸发冷却相结合的空气处理方式。

3. 空气调节系统冷热源选用

（1）空气调节系统冷源选用。空气调节系统的冷源包括天然冷源和人工冷源。天然冷源就是利用自然界现存的地下水、湖泊和水库的深层水、天然冰及常温水喷淋蒸发吸热等来制冷，人工冷源就是应用现代制冷技术来制冷。为保证电厂安全、稳定地运行，一般在主厂房和集中控制楼的空气调节系统宜采用人工冷源。

由于天然冷源受自然条件限制较大，特别是近年来对地下水和地表水资源的各种保护，使用天然冷源受到很多环保和水保方面的限制。个别工程，当有可靠的地下水或地表水可利用时，可以作为空气调节冷源，但需专题论证采用天然冷源的可行性。

在干燥地区，宜采用常温水喷淋直接水蒸发冷却的方法，对空气调节区进行等焓降温处理。当采用直接水蒸发冷却方式无法保证室内空气的相对湿度时，可采用间接水蒸发冷却或直接水蒸发冷却和间接水蒸发冷却相结合的空气处理方式。一般在全新风运行工况的空气处理过程中，采用直接水蒸发冷却方式较为合适。

采用人工冷源时，应根据空气调节区的规模，确定采用集中供冷或独立供冷的冷源系统。一般情况下，在夏热冬冷、夏热冬暖及温和地区，对单机容量在300MW及以上机组的电厂主厂房空气调节系统，宜考虑采用冷水集中供冷方式（集中供冷系统设计参见第九章）；在寒冷或严寒地区，由于夏季主厂房区域空气调节冷负荷较小，且冷用户点较少（很多电气设备房间在南方地区采用降温通风的方法才能解决室内设备散热

问题，而在北方仅采用通风方式就可解决），因此，常采用自带冷源的空气处理设备，而不设集中冷源系统。

当空气调节系统采用冷水作为系统冷源时，空气调节系统中的空气冷却设备进出水温差宜按5℃计算。

（2）空气调节系统热源选用。电厂主厂房空气调节系统的热源一般可采用热水、蒸汽、电热和冷剂（热泵运行制热）等。热源的获取应根据电厂供暖系统的设置、空气调节系统的规模、空气调节系统的类型、空气调节区的室内设计参数、厂址的气候条件等因素确定。通常空气调节系统的热源可根据上述因素，采用下列多种方式获取。

1）当电厂设有集中热水供暖系统时，优先考虑利用集中热水供暖系统的热水（当热水参数合适时，可直接获取）作为空气调节系统热源。

2）当电厂有适合余热（如循环水余热）可利用时，可优先考虑采用水源热泵运行制热的方法为空气调节系统提供热源。

3）当厂址的气候条件允许时，优先考虑利用室外空气源热泵运行制热的方法为空气调节系统提供热源。

4）当空气调节系统的热负荷较小，且采用其他热源形式使得系统投资较大时，可采用电加热作为空气调节系统的热源。

5）位于严寒地区的空气调节系统，新风预热的热源建议采用蒸汽或电加热，当采用热水时应有可靠的防冻保护措施。

6）当空气调节系统采用冷热水两用盘管时，热水的供水温度应不大于60℃，供回水温差一般为5～10℃。

二、集中空气调节系统

（一）系统设计原则

1. 系统形式的确定

主厂房区域的集中控制室、热控电子设备室、电气继电器室等均应采用集中空气调节系统。集中空气调节风系统一般可分为定风量系统和变风量系统，在电厂通常采用定风量集中空气调节系统。定风量集中空气调节系统又可分为一次回风空气调节系统和一、二次回风空气调节系统。一次回风空气调节系统或一、二次回风空气调节系统选用条件见表3-29。

表3-29　一次回风空气调节系统或一、二次回风空气调节系统选用条件

一次回风空气调节系统	一、二次回风空气调节系统
（1）仅作夏季降温用的空气调节系统，送风温差可取最大值时。 （2）室内散湿量较大时。 （3）全年运行的集中式空气调节系统。 （4）室内温度、相对湿度允许波动范围较大，可采用最大送风温差时。 （5）可利用室外比焓（或温度）变化改变新回风比（直至全新风直流运行），充分利用室外新风做冷源时	（1）室温允许波动范围较小或送风相对湿度小于某一值，宜采用固定比例的一、二次回风空气调节系统。 （2）室内散湿量较小，且不允许选用较大送风温差时。 （3）室内散湿量较小，且全年使用集中式系统。 （4）室内温度、相对湿度允许波动范围较小，不能采用最大送风温差时，宜采用变动的一、二次回风比或固定旁通

以表面式空气冷却处理方式为例，典型的双风机一次回风空气调节系统和一、二次回风空气调节系统流程如图3-4和图3-5所示。

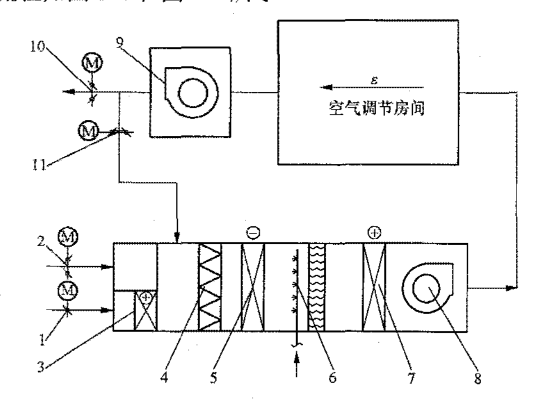


图3-4　双风机一次回风空气调节系统流程图

1—最小新风阀；2—最大新风阀；3—新风预热器；4—空气过滤器；5—表冷器（冷水或冷剂直膨式）；6—加湿器（蒸汽或高压喷雾）；7—二次加热器（蒸汽或热水）；8—送风机；9—回风机；10—排风阀；11—一次回风阀

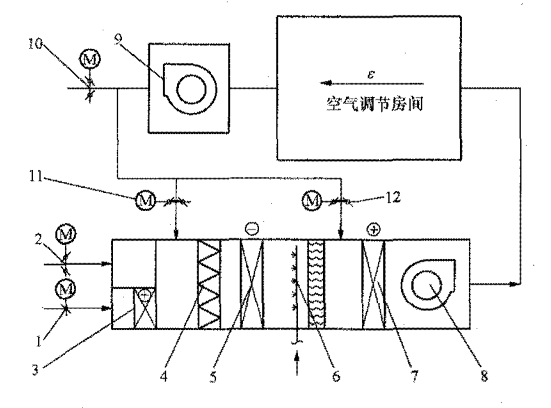


图3-5　双风机一、二次回风空气调节系统流程图

1—最小新风阀；2—最大新风阀；3—新风预热器；4—空气过滤器；5—表冷器（冷水或冷剂直膨式）；6—加湿器（蒸汽或高压喷雾）；7—二次加热器（蒸汽或热水）；8—送风机；9—回风机；10—排风阀；11—一次回风阀；12—二次回风阀

对于集中控制室，由于系统全年运行，且室内温

度、相对湿度允许波动范围较大，可采用最大送风温差。通常可采用双风机一次回风空气调节系统，并设有新风比可调的功能，也可采用单风机一次回风空气调节系统，另外单独设置室内排风机，满足过渡季全新风的功能要求。

对于电子设备室和电气继电器室，虽然温度、相对湿度允许波动范围不大（温度精度：±1℃；相对湿度精度：±10%），但允许的送风温差也接近最大送风温差，且室内设备散热负荷常年较大，有利于空气调节系统在过渡季按变新风或全新风节能工况运行。因此，系统形式可与集中控制室系统相同。

2. 夏季空气热湿处理方式的选择

空气调节系统夏季空气热湿处理设备通常有表冷器、蒸发器、直接水蒸发式空气冷却器和间接水蒸发式空气冷却器等。一般应根据室外气象条件、室内参数及其精度要求、能源利用条件等因素确定空气冷却设备的形式。

图 3-6 所示为夏季湿空气分析焓湿图。图中：W 点为室外状态点；N 点为室内状态点，对应的 h_N 是室内空气比焓；S 点为送风状态点，对应的 h_S、t_S 和 d_S 分别为送风比焓、送风温度和送风含湿量，并以 h_N、h_S、t_S、d_S 线将湿空气焓湿图划分成Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个分区。不同地域的室外空气状态点 W 会落在不同的分区内，当与室内空气混合时，其混合点 1 也会沿混合线落在某一分区内。

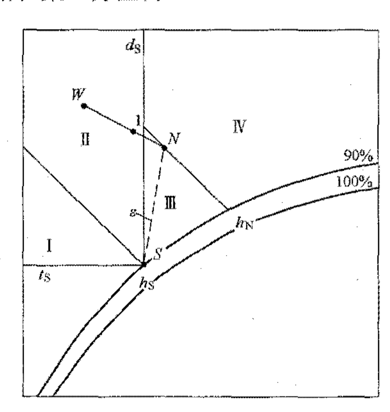


图 3-6　夏季湿空气分析焓湿图

根据图 3-6 分析，不同地域的室外空气状态，混合点 1（其对应的温度为 t_1，含湿量为 d_1，比焓为 h_1）会随着不同的气象条件在焓湿图中处于不同位置，要达到送风状态点 S，会有不同的夏季空气热湿处理过程。

（1）含湿量 $d_1<d_S$。

1）Ⅰ区的空气处理过程。当混合点的含湿量 $d_1<d_S$，且 $h_1<h_S$ 和 $t_1 \geq t_S$ 时，空气调节系统可通过调节新回风比，使混合点的比焓 $h_1=h_S$，然后采用直接水蒸发空气冷却器对混合后的空气进行等焓加湿处理，使空气状态达到 S 点。这一空气处理过程可不使用人工冷源，且较为节能。

2）Ⅱ区的空气处理过程。当混合点的含湿量 $d_1<d_S$，且 $h_1 \geq h_S$ 时，空气调节系统宜在全新风工况运行，空气处理过程可先采用表面式空气冷却器或间接水蒸发空气冷却器，经等湿降温处理将空气的比焓处理到 h_S，然后采用直接水蒸发空气冷却器经等焓加湿使空气状态达到送风状态点 S。

（2）含湿量 $d_1 \geq d_S$。

1）Ⅲ区的空气处理过程。当混合点的含湿量 $d_1 \geq d_S$，且 $h_1<h_N$ 时，空气调节系统宜在全新风工况运行，空气处理过程可采用表面式空气冷却器，经减焓去湿降温处理使空气状态达到送风状态点 S。

2）Ⅳ区的空气处理过程。当混合点的含湿量 $d_1 \geq d_S$，且 $h_1 \geq h_S$ 时，空气调节系统应在最小新风比工况运行，空气处理过程可采用表面式空气冷却器，经减焓去湿降温处理使空气状态达到送风状态点 S。

由上分析可知，不同地域的工程项目，由于室外气象参数不同，选择空气冷却处理设备的形式也会不同。在 $d_1<d_S$ 情况下，空气处理过程必须伴有加湿处理，才能到达送风状态点；在 $d_1 \geq d_S$ 情况下，空气处理过程必须伴有去湿处理，才能到达送风状态点。

（二）空气调节系统负荷组成及附加

1. 空气调节系统负荷组成

空气调节系统的负荷计算应根据空气调节区中各房间同时使用情况、空气调节系统类型及空气调节设备配置等条件，综合考虑下列各项冷、热负荷和湿负荷：

（1）空气调节区负荷，可按本章第二节所述计算方法计算空气调节区冷、热负荷和湿负荷。

（2）空气调节区新风冷、热负荷和湿负荷，即为空气调节系统补充新风而形成的新风冷、热负荷和湿负荷。

（3）空气调节系统的漏风（包括空气处理设备的漏风和风管系统的漏风）引起系统风量增加形成的附加冷、热负荷，一般采取风量进行修正的方法。

（4）空气调节风系统由于风机、风管温升形成的附加冷负荷，冬季一般不考虑。

（5）当空气处理过程中产生冷、热抵消现象时，尚应考虑由此引起的附加冷负荷。

一般情况下，空气调节系统的负荷计算应通过焓湿图分析，并按夏季设计工况确定空气调节系统送风量，而后根据不同的空气热湿处理过程，计算出空气调节系统的冷负荷、热负荷及湿负荷，并依此选择相应的空气处理设备。

2. 空气调节系统温升附加冷负荷

（1）空气调节系统温升附加冷负荷计算。空气调

节系统温升附加一般仅考虑夏季空气调节运行工况。系统温升形成的附加冷负荷一般包括空气通过风管的温升和空气通过送、回风机的温升。

1）空气通过风管的温升。由于空气调节系统风管内、外空气的温差作用，就会通过风管管壁进行热量的传递。当管内空气温度低于管外空气温度时，会导致管内空气温度升高（得热）；当管内空气温度高于管外空气温度时，会导致管内空气温度降低（失热）。

通过风管管壁热量传递的大小，与风管材料性质和厚度（包括保温）、风管几何尺寸、管内外温差、空气流速等诸多因素有关，一般可按下列简化式（3-31）计算管内空气的温升（降），即

$$\Delta t=\frac{3.6uKl}{c_p\rho L}(t_1-t_2) \tag{3-31}$$

式中 Δt——管内空气的温升（降），℃；

c_p——空气的比定压热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

L——风量，m^3/h；

u——风管的周长，m；

K——风管材料（包括保温层）的传热系数，W/（m^2·℃）；

l——风管长度，m；

ρ——空气密度，取 1.2kg/m^3；

t_1——高温侧空气温度，℃；

t_2——低温侧空气温度，℃。

2）空气通过送、回风机的温升。空气通过送、回风机的温升计算式为

$$\Delta t=\frac{3.6\times\frac{Lp}{3600\eta_2}\eta}{1.013\times1.2\eta_1 L}=\frac{0.0008H\eta}{\eta_1\eta_2} \tag{3-32}$$

式中 Δt——空气通过送、回风机的温升，℃；

L——风量，m^3/h；

p——风机的全压，Pa；

η——电动机安装系数，当在气流内时 η=1.0，当在气流外时 $\eta=\eta_2$；

η_1——风机全压效率（取实际值）；

η_2——电动机的效率，对于电厂集中空气调节系统的送、回风机的电动机一般可取 0.9。

（2）空气调节系统温升附加冷负荷取值。根据电厂的设备选型特点，一般在施工图设计的前期阶段，就开始主要空气调节设备的招投标，没有条件进行风管温升计算，因此，集中空气调节系统温升往往根据以往工程设计经验，温升可按下述系统条件取值。

1）双风机系统。送风侧，由于送风机功率较大和管内外空气温差较大，送风机及送风管道推荐温升取值，风管较短取 1℃，风管较长取 1.5℃；回风侧，回风机温升取 0.5℃，风管温升可不考虑。

2）单风机系统（一般情况下空气调节区范围较小）。送风机与送风管道温升可取 1.0℃。

3. 空气调节系统漏风附加负荷

空气调节系统漏风形成的附加负荷主要包括：一是由于设备漏风引起的负荷，二是由于风管漏风引起的负荷。

设备漏风引起的负荷，由于目前空气处理设备结构形式的完善和制造技术的提高，设备漏风很小，一般可忽略不计。风管漏风引起的负荷，主要与风管施工技术、风管材料、风管系统范围以及空气处理设备布置形式等有关，其中，风管系统范围和空气处理设备布置形式是引起风管漏风的主要原因。例如，当 2 台或多台空气处理设备并联布置时，空气调节系统的母管与各空气处理设备通过支管连接，在空气调节系统运行时，由于通过停运或备用设备的支管（虽有风阀隔断，但其密封性较差）的压差作用，会引起空气调节系统漏风负荷增加。

空气调节系统漏风负荷一般应根据空气调节区空气调节系统的服务范围、设备配置、风管材料和施工技术等情况，对空气调节区送风量 G_S 乘以系统漏风系数 ψ 进行修正，然后在此基础上，再计算系统负荷。系统漏风系数 ψ，宜按下列方式取值：

（1）当空气处理设备采用 2 台 1 用 1 备（或 2 用 1 备）时，一般取值为 1.10～1.15。

（2）当空气处理设备采用 2 台同时运行时，一般取值为 1.05～1.10。

（3）当空气处理设备仅采用 1 台时，则系统漏风较小，一般取值不大于 1.05。

（4）对于一些就地安装的空气调节设备不应考虑漏风附加系数。

必须指出的是，空气处理设备中的空气冷却器、空气加热器、空气加湿器的空气处理能力，以及风机风量均应按漏风附加负荷后的系统风量进行选型。

（三）空气调节系统风量计算

1. 空气调节系统送风量计算

通常电厂集中空气调节系统送风量按夏季设计工况确定。空气调节系统送风量 L 根据夏季空气调节区送风量 L_{ms} 乘以漏风系数 ψ 计算得到。空气调节系统送风量 L（kg/h）计算式为

$$L=\psi L_{ms}=\psi\times3.6Q_{max}/(h_N-h_S) \tag{3-33}$$

式中 ψ——漏风系数；

L_{ms}——空气调节区送风量，kg/h，其计算见式（3-27）；

Q_{max}——空气调节区综合计算冷负荷，W；

h_N——室内空气状态点 N 的比焓，kJ/kg；

h_S ——送风状态点 S 的比焓，kJ/kg。

室内空气状态点 N、送风状态点 S 的确定见本章第二节，对应的焓湿图如图 3-1 所示。

2. 新风量取值

对电厂集中空气调节系统而言，新风量应按下列 4 项中的最大值选取：

（1）电子设备室和继电器室等无人值守设备房间的空气调节系统的新风量为系统送风量的 5%，集中控制室空气调节系统的新风量为系统送风量的 10%。

（2）满足卫生要求需要的每人不小于 30m^3/h 的新风量。

（3）保持室内正压所需要的新风量，正压值宜为 5～10Pa。

（4）补偿排风所需的新风量。

（四）夏季空气调节系统负荷计算

根据图 3-6，夏季空气冷却处理过程基本上可分为两大类：一为减焓去湿冷却处理过程；二为减焓加湿冷却处理过程。

1. 减焓去湿冷却处理冷负荷

在夏季设计条件下，当室外空气含湿量 $d_W \geq d_S$ 时，室外空气状态 W 点处于等湿线 d_S 的右侧，则说明空气处理过程应采用减焓去湿冷却。一般情况下，均采用表面式空气冷却器来实现此处理过程。处理过程如图 3-7 所示，对应的焓湿图如图 3-8 所示。

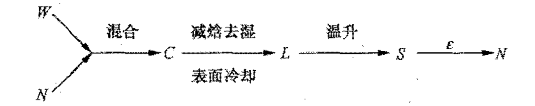


图 3-7　夏季空气处理过程图（一）

W—夏季室外空气状态点；N—夏季室内空气状态点；
C—夏季新回风混合状态点；L—夏季冷却处理机器露点；
S—夏季送风状态点；ε—夏季室内的热湿比线

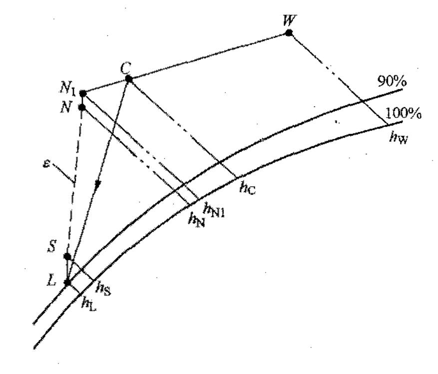


图 3-8　夏季焓湿图（一）

送往室内的空气，在吸收房间余热余湿变成状态 N 点后，一部分空气排至室外，另一部分回到空气处理机组与新风混合，混合后的空气经空气处理设备冷却除湿处理，到达 L 点，经送风附加温升（一般舒适性空气调节采用最大送风温差，当室内温度精度大于或等于−1℃和小于或等于 1℃时，还需考虑再加热引起的温升），至 S 点送入室内，并沿室内的热湿比线 ε 吸收房间余热、余湿达到室内空气状态 N。

根据图 3-8 的比例关系确定新回风混合点 C，并可按式（3-34）、式（3-35）确定新回风混合点的比焓，比焓也可按焓湿图查得

$$\overline{NC}/\overline{NW} = L_W/L = (h_C - h_N)/(h_W - h_N) = m\% \quad (3\text{-}34)$$

由此可得

$$h_C = h_N + (h_W - h_N)m\% \quad (3\text{-}35)$$

夏季系统冷负荷计算式为

$$Q = L(h_C - h_L)/3.6 \quad (3\text{-}36)$$

式中　Q ——夏季系统冷负荷，W；

L_W ——系统新风量，kg/h；

L ——系统送风量，kg/h，其计算见式（3-33）；

h_W ——室外空气的比焓，kJ/kg；

h_N ——室内空气的比焓，kJ/kg；

h_C ——混合点空气的比焓，kJ/kg；

h_L ——机器露点空气的比焓，kJ/kg；

m ——新风比，%。

2. 减焓加湿冷却处理冷负荷

在夏季设计条件下，当室外空气含湿量 $d_W < d_S$ 时，室外空气状态 W 点在等湿线 d_S 的左侧，则说明空气处理过程应采用减焓加湿冷却，整个空气处理过程可分为等湿降温处理+等焓加湿处理。

空气处理过程：室内空气与室外新风混合后，采用表面式空气冷却器或间接水蒸发式空气冷却器进行等湿降温处理，将空气从 C 点沿等湿线 d_C 处理到 C_1 点（与等焓加湿的过程线 h_L 相交的点），再用直接水蒸发冷却器进行等焓加湿处理，将空气从 C_1 点沿等焓线 h_L 处理到 L 点（与 90%或 95%的相对湿度线相交的点），完成整个空气处理过程。处理过程如图 3-9 所示，对应的焓湿图如图 3-10 所示。

W　混合　等湿降温　等焓加湿　温升　ε
C　C1　L　S　N
N　表面冷却或间接蒸发　直接蒸发

图 3-9　夏季空气处理过程图（二）

W—夏季室外空气状态点；N—夏季室内空气状态点；
C—夏季新回风混合状态点；C1—夏季等湿降温状态点；
L—夏季冷却处理机器露点；S—夏季送风状态点；
ε—夏季室内的热湿比线

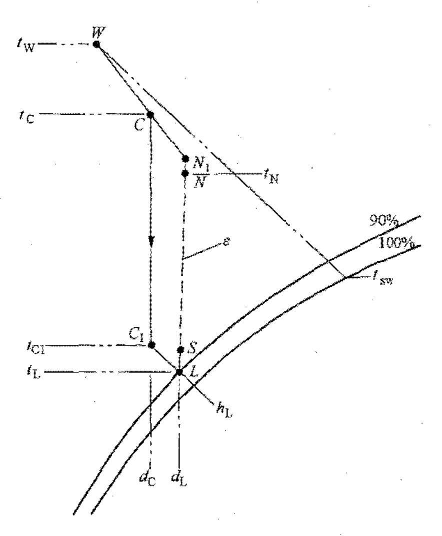


图 3-10　夏季焓湿图（二）

等湿降温处理所需的冷负荷计算式为

$$Q_1=L(h_C-h_L)/3.6 \tag{3-37}$$

或

$$Q_1=Lc_p(t_C-t_{C1})/3.6 \tag{3-38}$$

由直接水蒸发空气冷却器所需处理的显热冷量计算式为

$$Q_2=Lc_p(t_{C1}-t_L)/3.6 \tag{3-39}$$

由直接水蒸发空气冷却器所需处理的加湿量计算式为

$$\Delta d=L(d_L-d_C)/1000 \tag{3-40}$$

式中　Q_1——等湿降温处理所需的冷量，W；

Q_2——由直接水蒸发空气冷却器所需处理的显热冷量，W；

c_p——空气的比定压热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

t_C——新回风混合点的空气干球温度，℃；

t_{C1}——等湿降温处理终点的空气干球温度，℃；

t_L——等焓加湿机器露点的空气干球温度，℃；

Δd——由直接水蒸发空气冷却器所需处理的加湿量，kg/h；

d_L——等焓加湿机器露点的空气含湿量，g/kg 干空气；

d_C——新回风混合点的空气含湿量，g/kg 干空气。

在空气减焓降温加湿处理过程中，有以下几方面的问题值得注意：

（1）空气调节系统新风比的调节。由于室外空气状态点 W 会随气候变化而改变，由图 3-11 可见：

1）在室外新风比焓大于室内空气比焓条件下，当混合点 C 从最小新风比向最大新风比变化时，等湿降温过程的冷负荷和等焓加湿过程的加湿量随新风比增加而增加，此时应按最小新风比工况运行。

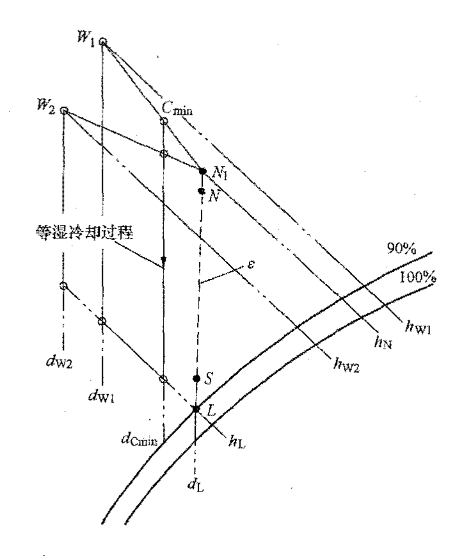


图 3-11　$W_1 \rightarrow W_2$ 焓湿图

2）在室外新风比焓小于室内空气比焓条件下，当混合点 C 从最小新风比向最大新风比变化时，等湿降温过程的冷负荷随新风比增加而减小，但等焓加湿过程的加湿量随新风比增加而增加，此时，系统宜为最大新风比工况运行。

因此，空气调节系统宜具备新风比可调功能。

（2）空气冷却处理设备形式的选择。在室外空气含湿量 $d_W<d_S$ 条件下，等湿降温处理一般可采用表面式空气冷却器或间接水蒸发式空气冷却器来实现。

在主厂房空气调节系统设计中常采用表面式空气冷却器，即使室外空气含湿量发生变化（当 $d_W>d_S$ 时），也可作为空气冷却去湿之用。

当采用间接水蒸发式空气冷却器时，由于换热效率 η_{IEC} 受二次空气的湿球温度 t_{sw} 的限制，间接水蒸发冷却器（考虑到经济性和布置条件，一般采用单级）换热效率 η_{IEC} 一般为 0.55～0.65，最高 η_{IEC} 也小于 75%。此时，空气经等湿降温和等焓加湿处理的空气状态点 L_1 就有可能落在等湿线 d_L 的右侧，为保证达到室内设计参数，空气还需经过冷却去湿处理才能达到机器露点 L，如图 3-12 所示。因此，整个空气处理过程将由等湿降温、等焓加湿和降温去湿三个处理过程组成。这种方法会使空气调节系统过于复杂，系统设备庞大，所占机房面积和空间大，不易布置，尤其是间接水蒸发式空气冷却器的二次空气系统的设置。但其好处就是，可以减少人工冷源所需承担的冷负荷，比较节能。

（3）间接水蒸发式空气冷却器出口温度的确定。可根据间接水蒸发式空气冷却器的换热效率计算式得到一次空气出口温度，即

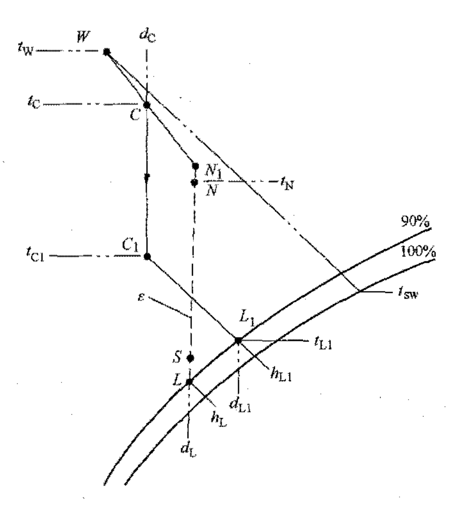


图 3-12　夏季焓湿图（三）

$$\eta_{IEC}=(t_C-t_{C1})/(t_C-t_{sw}) \tag{3-41}$$

$$t_{C1}=t_C-\eta_{IEC}(t_C-t_{sw}) \tag{3-42}$$

式中　t_{C1}——间接水蒸发式空气冷却器一次空气出口温度，℃；

η_{IEC}——间接水蒸发式空气冷却器的换热效率，通常取 0.55～0.65；

t_C——混合点的空气温度，℃，当全新风时，即为新风干球温度；

t_{sw}——室外新风的湿球温度，℃。

3. 直接和间接水蒸发冷却处理的耗水量

（1）直接水蒸发冷却处理的耗水量。直接水蒸发冷却过程的最大耗水量计算式为

$$G_W=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\frac{3600Q_z}{r} \tag{3-43}$$

式中　G_W——直接水蒸发冷却过程的最大耗水量，kg/h；

Q_z——直接水蒸发冷却机组的制冷量，kW，$Q_z=Q_2$，Q_z 由式（3-39）计算得到；

R——循环水的浓缩倍率，即循环水离子浓度与补水离子浓度的比值，可按 2～4 取值；

r——水的汽化潜热，kJ/kg，空气温度 20℃时取值 2454kJ/kg；

1.1——风吹损失等安全裕量系数。

（2）间接水蒸发冷却处理的耗水量。间接水蒸发冷却过程的最大耗水量计算式为

$$G_W=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\left(0.74+\frac{A_r}{\eta_{IEC}}\right)\frac{3600Q_z}{r} \tag{3-44}$$

式中　G_W——间接水蒸发冷却过程的最大耗水量，kg/h；

Q_z——间接水蒸发冷却机组的制冷量，kW，$Q_z=Q_1$，按式（3-37）计算；

A_r——间接水蒸发二次空气与一次空气的比例，可按 0.6～0.8 取值；

η_{IEC}——间接水蒸发冷却效率，一般取 0.55～0.65；

R——循环水的浓缩倍率，即循环水离子浓度与补水离子浓度的比值，可按 2～4 取值；

r——水的汽化潜热，kJ/kg，空气温度 20℃时取值 2454kJ/kg；

1.1——风吹损失等安全裕量系数。

（五）冬季空气调节系统负荷计算

冬季空气热湿处理一般采用表面式空气加热器和蒸汽加湿方式（包括干蒸汽加湿器、电加湿器）或水加湿方式（包括高压喷雾加湿器和直接水蒸发式加湿器）就可达到所需处理的目的。处理过程如图 3-13 所示，对应的焓湿图如图 3-14 所示。

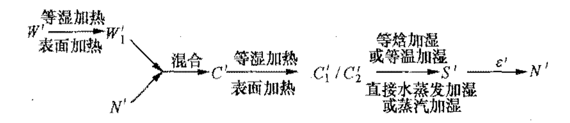


图 3-13　冬季空气处理过程图

W′—冬季室外空气状态点；N′—冬季室内空气状态点；C′—冬季新回风混合状态点（系统加热过程空气初状态点）；C_1' 或 C_2'—冬季系统加热过程空气终状态点；S′—冬季送风状态点；ε′—冬季室内的热湿比线

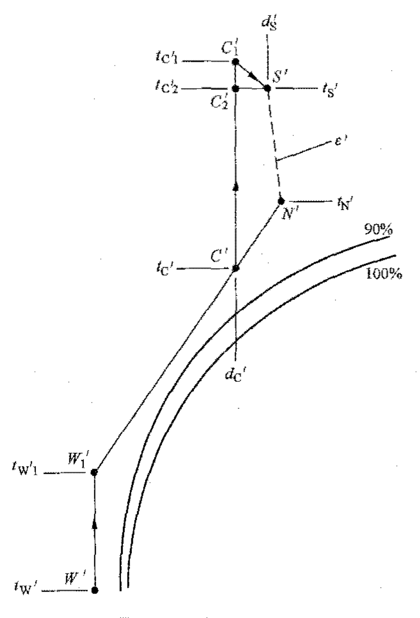


图 3-14　冬季焓湿图

空气热湿处理过程：送入房间的空气经热湿交换后，一部分空气被排至室外，另一部分回到空气处理机组与新风混合（在焓湿图中，当室外空气状态点 W′ 与室内空气状态点 N′ 两点直线连接线与 100%相对湿度线相交时，应先进行新风加热至合适的状态点

W_1'），混合后空气状态至 C'点，经加热至 C_1' 点（等焓加湿时）或 C_2' 点（等温加湿时），再经加湿处理，达到送风状态点 S'后送入室内，并按室内热湿比线 ε' 与室内空气进行热湿交换，使空气状态达 N'。

由图 3-14 可见，当采用等温加湿时，系统加热过程的终状态点应为 C_2'，对应的温度为 $t_{C'2}$；当采用等焓加湿时，则系统加热过程的终状态点应为 C_1'，对应的温度为 $t_{C'1}$。

（1）冬季新风预热负荷计算式为

$$Q_W' = L_W c_p (t_{W'1} - t_{W'})/3.6 \qquad (3\text{-}45)$$

式中 Q_W'——冬季新风预热负荷，W；

L_W——系统新风量，kg/h，一般按最小新风比确定；

c_p——空气的比定压热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

$t_{W'}$——新风预热器入口空气温度，℃；

$t_{W'1}$——新风预热器出口空气温度，一般不应低于 5℃。

（2）冬季系统送风温度的确定。冬季系统送风温度，首先应根据系统送风量及冬季空气调节区热负荷，通过热平衡计算得到冬季系统送风温差

$$\Delta t_{S'}=3.6\,Q_{max}'/(Lc_p) \qquad (3\text{-}46)$$

式中 $\Delta t_{S'}$——冬季系统送风温差，℃；

L——系统送风量，kg/h；

Q_{max}'——冬季空气调节区热负荷，W。

冬季系统送风温度计算式为

$$t_{S'}=t_{N'}+\Delta t_{S'} \qquad (3\text{-}47)$$

式中 $t_{S'}$——冬季系统送风温度，℃；

$t_{N'}$——冬季室内设计温度，℃。

（3）冬季系统热负荷计算式为

$$Q'=Lc_p(t_2-t_1)/3.6 \qquad (3\text{-}48)$$

式中 Q'——冬季系统热负荷，W；

t_1——系统加热器入口空气温度，℃，即为冬季系统混合点 C'对应的温度 $t_{C'}$，可由焓湿图查得；

t_2——系统加热器出口空气温度，℃，则应根据空气加湿处理过程确定。

当采用等温加湿时，$t_2=t_{C'2}=t_{S'}$，$t_{S'}$ 由式（3-47）计算得到；

当采用等焓加湿时，$t_2=t_{C'1}$，$t_{C'1}$ 可由焓湿图查得。

（4）冬季空气加湿负荷可根据空气混合状态点 C' 的含湿量与所需送风状态点的含湿量的差值计算式为

$$W'=L(d_{S'}-d_{C'})/1000 \qquad (3\text{-}49)$$

式中 W'——冬季空气加湿负荷，kg/h；

$d_{S'}$——冬季送风含湿量，g/kg 干空气；

$d_{C'}$——冬季混合点 C'的空气含湿量，g/kg 干空气。

注：此加湿负荷为空气从状态 C_1' 或 C_2' 达到状态 S'所需吸收的水蒸气量，并非加湿设备的加湿量，设备的加湿量应根据各种设备的加湿效率确定。

（六）加湿负荷确定

考虑到过渡季节能运行，主厂房集中控制室、电子设备室及继电器室集中空气调节系统，一般采用变新风一次回风系统，而系统的最大加湿负荷往往出现在全新风工况（夏季和冬季均为最小新风比工况），因此，空气加湿设备的加湿量应按全新风工况确定。此时加湿量 W'（单位为 kg/h）可按式（3-49）计算，但式中 $d_{C'}$应为全新风时加湿器入口空气含湿量，$d_{S'}$ 可按室内温度、相对湿度允许波动范围中最小空气含湿量确定。

三、气流组织

1. 设计原则

（1）空气调节区的气流组织是指合理地布置送风口和回风口，使得处理后的空气，由送风口送入空气调节区后，能均匀地消除空气调节区内的余热和余湿，使空气调节区（通常是指离地面高度为 2m 以下的空间）内形成较为均匀而稳定的温度、相对湿度、气流速度和洁净度，以满足生产工艺和人体舒适的要求。

（2）主厂房空气调节区的气流组织，主要应根据空气调节区的温度、相对湿度、允许风速、噪声标准、温度及相对湿度梯度要求，并结合室内热、湿负荷分布情况及建筑物内部空间特点、内部装饰、工艺（含设备散热因素）或家具位置及外形尺寸等因素进行设计、计算。

（3）主厂房集中空气调节区域气流组织的设计，应满足表 3-2 室内设计参数和 DL/T 5035—2016 规定的室内噪声限值控制要求。

（4）电厂空气调节区常用的气流组织形式有侧送风（上送上回或上送下回）、散流器平送或下送、条缝形风口送风（下送或侧送）等，有条件时建议集中控制室采用侧送风，其他房间采用散流器平送或下送。在特殊情况下也会采用孔板送风方式，如计算机专用机房空气调节系统设计（孔板送风设计详见参考文献[6]）。几种常用的气流组织方式的主要特点见表 3-30。

表 3-30　几种常用的气流组织方式的主要特点

项目	侧送	散流器平送	散流器下送	条缝形下送
送风口位置	侧上方	顶棚	顶棚	顶棚
回风口位置	侧上方或下方	侧下方或顶棚	侧下方	侧下方

续表

项目	侧送	散流器平送	散流器下送	条缝形下送
工作区气流流型	回流	回流	直流	直流
混合层高度（m）	0.3～0.5	0.2～0.5	1～3	1～3
空气调节区高度（m）	2.5～3	2.5～3	3～4	3～4
工作区气流平均速度（m/s）	0.05～0.4	0.05～0.4	0.05～0.2	0.05～0.2
射流形式	贴附射流	贴附射流	下送射流	下送射流
射程情况	射程较长	射程较短	射程较短	射程较短
送风速度（m/s）	2～5	2～5	2～4	2～4

注　1．回流是指由于射流的诱导作用而引起回旋流动的气流，其速度场和温度场比较均匀。

2．直流是指自上而下直向流动的气流。

3．本表数据是以空气调节区如下单位面积送风量的条件下获得的：

侧送与散流器平送为 20～60m³/（m²·h）；

散流器下送和条缝形下送为 40～150m³/（m²·h）。

（5）空气调节房间回风口的布置应尽量满足以下布置条件、回风口吸风风速要求：

1）回风口宜尽量靠近局部热源布置，并尽量避免设于送风射流区和人员长时间停留的地点。

2）采用侧送时，回风口宜设于送风口的同侧下方，采用顶送时，回风口宜设于房间的下方。

3）条件允许时，宜采用集中回风或走廊回风，走廊回风时风速不宜大于 2m/s（走廊断面风速），并应保证走廊与非空气调节区域的密闭性。

4）不同位置的回风口吸风风速按表 3-31 取值。

表 3-31　　回风口吸风速度　　（m/s）

回风口位置		吸风速度
房间上部		≤4
房间下部	不靠近人员经常停留的地点时	≤3
	靠近人员经常停留的地点时	≤1.5

2．侧向送风设计

（1）设计要点。

1）侧向送风宜采用贴附射流方式，并使工作区域处于气流组织的回流区域内，侧向贴附射流流型如图 3-15 所示。

2）侧向贴附射流的射程范围不宜有遮挡物（即顶棚较平整），送风口安装高度应尽可能抬高，其上缘应尽量靠近顶棚。

3）侧送气流组织以同侧上送下回为宜，当射程较长时，可采用双侧送回风方式。

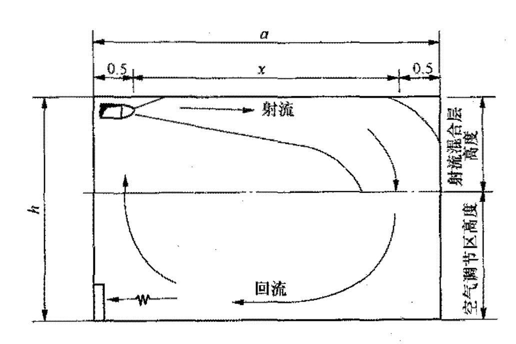


图 3-15　贴附射流流型图

注：本图摘自参考文献［6］。

4）侧送贴附射流的射程一般可按射流末端离房间墙体的距离为 0.5m 考虑。

5）侧送贴附射流的射程可按射流末端气流高度，即离地面 2m 以上的射流混合层高度来确定。

6）侧送风口的送风速度一般取 2～3m/s，当射程较长时可取 4～5m/s。

7）侧送风口宜选用双层叶片的可调型送风百叶，且横向叶片在外，可根据现场实际情况，调节叶片的仰、俯角度，加强夏季冷气流的贴附效果和避免冬季热气流在上部囤积。在侧送风口前（顺气流方向）宜设置风量调节阀。

（2）工艺性空气调节侧送气流组织（室温波动范围为大于或等于 1℃和小于或等于−1℃±1℃）。

1）设计计算步骤。根据空气调节房间的夏季冷负荷、热湿比和送风温差，绘制出空气处理过程的焓湿图，并按下式计算空气调节房间送风量（体积流量）和换气次数

$$L_{vs}=L_{ms}/\rho \tag{3-50}$$

$$n=L_{vs}/(abh) \tag{3-51}$$

式中　L_{vs}——空气调节房间送风量（体积流量），m³/h；

n——空气调节房间换气次数，次/h；

L_{ms}——空气调节区送风量（质量流量），kg/h，其计算见式（3-27）；

ρ——实际的空气密度，kg/m³；

a、b、h——沿射流方向的房间长度、房间宽度、房间高度，m。

注：计算得到的换气次数 n 应大于房间规定的换气次数，主厂房区域主要空气调节房间的换气次数见表 3-2。

2）根据室温允许波动范围与选取的送风温差之比，查图 3-16 求得相对射程，或按下列拟合式（3-52）计算

$$x/D_S=47.77e^{-6.2797\Delta t_x/\Delta t_s} \tag{3-52}$$

式中　x——贴附射流射程，m，取 $x=A-0.5$；

D_S——送风口当量直径，m；

x/D_S ——相对射程；

Δt_x——室温允许波动范围，℃；

Δt_S——选取的送风温度，℃。

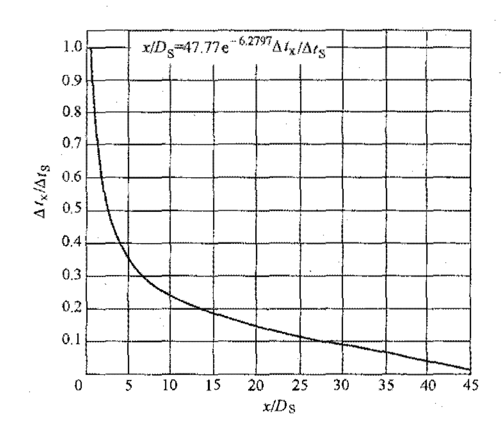


图 3-16 非等温受限射流轴心温度差衰减曲线

注：本图摘自参考文献［6］。

3）根据查图或计算得到的 x/D_S 和 x，可计算送风口当量直径和送风口面积，并可计算出单个送风口的送风量为

$$D_S = x/(x/D_S) \tag{3-53}$$

$$A_S = 1/4\pi D_S^2 = 0.785 D_S^2 \tag{3-54}$$

$$l_S = 3600kA_Sv_S \tag{3-55}$$

式中 A_S——送风口面积，m^2；

l_S ——单个送风口的送风量，m^3/（h·个）；

k——送风口的有效面积系数，按制造厂提供的设备资料选取，一般双层可调百叶风口取 0.72；

v_S ——送风口的送风风速，送风口的净面积风速应按空气调节房间的实用性质确定，一般取 2～5m/s 为宜。

4）计算送风口数量

$$N = L_S/l_S \tag{3-56}$$

式中 N——送风口数量，个。

5）校核射流的贴附长度，该值与阿基米德准数 A_r 有关，A_r 的计算式为

$$A_r = g\Delta t_S D_S/[v_s^2(t_N+273)] \tag{3-57}$$

式中 g ——重力加速度，取 g=9.81m/s^2；

t_N——室内空气温度，℃；

Δt_S——送风温差，℃。

算得 A_r 后，查图 3-17 中射流的相对射程 x/D_S 和阿基米德准数 A_r 关系曲线，求得相对射程 x/D_S 的值，并按式（3-53）校核射流的贴附长度 x 是否满足要求，不然，调整送风口数量和大小，直至符合要求为止。

（3）舒适性空气调节侧送气流组织。设计计算步骤：

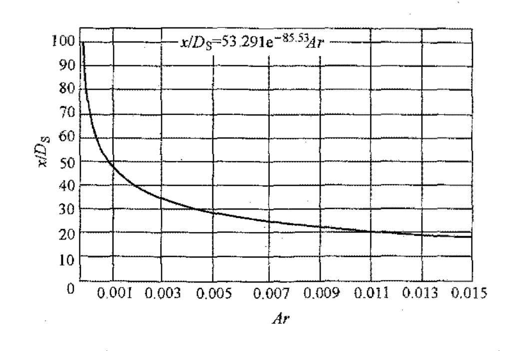


图 3-17 相对射程 x/D_S 和阿基米德准数 Ar 关系曲线

注：本图摘自参考文献［6］。

1）按式（3-50）和式（3-51），计算房间送风量 L_S 和换气次数 n，并校核换气次数是否满足。

2）根据房间送风量和尺寸（见图 3-15），确定送风口的型号、数量和布置位置。

3）按式（3-58）计算射流到达空气调节区时的最大速度，校核其是否满足工作区风速要求。

$$v_x = mv_Sk_Bk_C\sqrt{A_S}/x \tag{3-58}$$

式中 v_x——工作区风速，m/s；

m——送风口的速度衰减系数，对于单层百叶取 4.5，双层百叶取 3.4；

v_S——送风口的速度，m/s；

k_B——射流股数修正系数，取 1～3；

k_C——受限系数，取决于相对射程，取 0.1～1.0；

x ——贴附射流射程，m，取 a−0.5。

贴附射流射程 x 近似计算式为

$$x = a+(H-h) \tag{3-59}$$

或较精确计算式为

$$x = x_1+(H_0-h) \tag{3-60}$$

$$x_1 = 0.62[m^2A_S/(nA_{r0})]^{1/2} \tag{3-61}$$

$$Ar_0 = 11.1\Delta t_S\sqrt{A_S}/[v_S^2(t_N+273)] \tag{3-62}$$

式中 x_1——贴附射流从出风口到脱离顶棚的距离，m；

a、H ——沿射流方向的房间长度、房间高度，m；

h ——空气调节区高度，m，一般为 2m 以下；

n——送风口的温度衰减系数，对单层百叶取 3.2，双层百叶取 2.4；

Ar_0——射流出口处的阿基米德数；

Δt_S——送风温差，℃；

t_N——室内温度，℃。

3. 散流器送风设计

散流器上送风是利用设在吊顶上的散流器，将空气向下送入房间空气调节区的送风方式。散流器根据其形状、送风类型的不同，分别有以下形式：

a. 方（矩）形、圆形多层锥面型散流器、圆形凸

型散流器，其气流流型为平送贴附型，圆盘式散流器具有手动调节成下送或平送贴附两种模式。

b. 自力式温控变流型散流器，夏季送冷风时为平送贴附流型，冬季送热风时可自动切换成下送流型。

（1）散流器平送的布置注意事项。

1）散流器平送时，其喉部风速宜控制为2～5m/s。冬季需要送热风时，喉部风速宜取较大值。

2）回风口宜布置在房间的下侧，当条件受限时也可将回风口布置在吊顶上，但回风口的位置应避开散流器的送风方向。

3）应有利于送风气流对周围空气的诱导，避免产生死角，并充分考虑建筑结构的特点，在散流器平送方向不应有阻挡物。

4）宜按对称均匀布置或梅花形布置，散流器中心与侧墙的距离不宜小于1.0m。

5）每个散流器所覆盖区域最好为正方形或接近正方形，一般长宽比不得大于1.5。如果散流器所覆盖区域的长宽比大于1.25时，宜选用矩形散流器。

6）当空气调节风管布置不能使得各散流器送风量均匀时，宜设置风口风量调节阀。有条件时，散流器接口上方配置带调节阀的静压箱。

（2）平送散流器气流组织计算。

1）按式（3-50）和式（3-51），计算房间送风量L_S和换气次数n，并校核换气次数是否满足。

2）按房间面积布置散流器，确定每个散流器的风量及散流器之间的中心间距l。当送风区域仅为单个散流器时，l等于房间的宽度；当散流器离两侧墙体的间距不等时，应取两者的平均值。

3）选定送风速度，计算散流器的喉口当量直径D_S。

4）选定散流器型号。

5）计算散流器平送射流射程x，计算式为

$$x=v_S D_S k/v_x \tag{3-63}$$

式中 v_S——散流器的送风风速，m/s；

v_x——距散流器中心水平距离为x处的最大风速，即工作区允许的最大风速，m/s；

k——扩散系数，盘式散流器取0.7，直片式散流器取0.5；

D_S——散流器喉部当量直径，m。

注：平送射流射程x可按以下条件计算：

a. 当室内净高（吊顶至地面的距离）H>3m时，$x=0.5l+(H-3)$；

b. 当室内净高$H≤3$m时，$x=0.5l$。

6）计算轴心温差Δt_x，计算式为

$$\Delta t_x=\Delta t_S v_x/v_S \tag{3-64}$$

式中 Δt_x——轴心温差，℃；

Δt_S——送风温差，℃。

7）按式（3-57）计算阿基米德数Ar。

8）校核阿基米德数Ar及射流射程x，当$Ar≥0.18$或$x≤0.5l$，气流失去贴附，应重新进行计算。

四、设计举例

【例3-1】上海某电厂集中控制室夏季房间冷负荷、系统风量和系统负荷计算。

1. 已知条件

集中控制室设于集控楼运转层（17.00m），房间下一层为电缆层，上面均为屋顶，平面布置如图3-18所示。

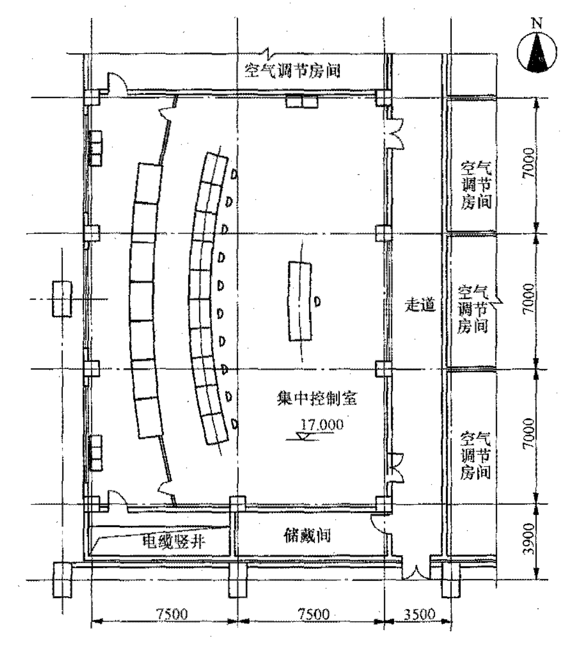


图3-18 集中控制室平面布置图

集中控制室：面积为288.6m²，建筑层高6m，吊顶离地面3.6m；夏季室内设计参数：t_n=25℃，φ_n=50%；并由GB 50019—2015查得室外设计参数如下：

（1）夏季空气调节室外计算日平均温度：30.8℃。

（2）夏季空气调节室外计算干球温度：34.4℃。

（3）夏季空气调节室外计算湿球温度：27.9℃。

（4）冬季空气调节室外计算温度：−2.2℃。

（5）冬季空气调节室外计算相对湿度：75%。

（6）夏季极端最高温度：39.4℃。

（7）冬季极端最低温度：−10.1℃。

室内设备、照明及人员配置见表3-32。

2. 空气调节热湿负荷计算

负荷计算原则：夏季围护结构冷负荷经由专业计算软件逐项逐时计算，其他冷负荷（包括设备、照明及人体等散热）和湿负荷（仅考虑人体散湿）均按稳态计算；冬季仅考虑围护结构热负荷。

表 3-32　　室内设备、照明及人员配置

序号	计算负荷项目名称		负荷指标（W/m^2）	数量（个）	负荷系数	负荷合计（W）
1	设备	80in 大屏幕显示器	500	8	1	4000
2		DCS 操作站 25in 计算机 2 台	200	8	1	1600
3		值长操作员站 25in 计算机	200	4	1	800
4		DEH 操作站 25in 计算机 2 台	200	8	1	1600
5		ECS 操作站 25in 计算机 2 台	200	4	1	800
6		辅网操作站 25in 计算机 2 台	200	2	1	400
7		NCS 操作站 25in 计算机 2 台	200	2	1	400
8		脱硫操作站 25in 计算机 2 台	200	2	1	400
9		打印机（小型办公）	320	6	1	1920
10		集中火灾报警控制器	500	1	1	500
11		消防联动控制器	500	1	1	500
12		设备散热合计				12920
13	室内照明	LED 照明	15	326	1	4890
14		其他照明	10	326	1	3260
15		照明合计				8150
16		人员（成年男性）		13		

注　1. 1in=25.4mm。
　　2. 人体散热量、散湿量按室温 25℃时的平均值计算。

集中控制室空气调节房间冷负荷及湿负荷见表 3-33，并由表 3-33 得到如下主要结果：

（1）最大冷负荷出现的时刻：16:00。

（2）夏季余热量：ΣQ=32.338 kW。

（3）冬季余热量：$\Sigma Q'$= −15kW（假定）。

（4）最大余湿量：ΣW=2.275kg/h=0.00063kg/s。

由上述余热量、余湿量可计算得到冬、夏季房间热湿比：

夏季热湿比 $\varepsilon=\Sigma Q/\Sigma W$=32.338/0.00063=51330（kJ/kg）；

冬季热湿比 $\varepsilon'=\Sigma Q'/\Sigma W$=−15/0.00063=−23810（kJ/kg）。

表 3-33　　集中控制室空气调节房间冷负荷及湿负荷

计算项目	计算时刻												
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
围护结构冷负荷（W）	8322	8265	8177	8063	7936	7792	7723	7698	7666	7639	7600	7563	7539
人员冷负荷（W）	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742
照明冷负荷（W）	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150
设备冷负荷（W）	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920
房间冷负荷（W）	31134	31077	30989	30875	30748	30604	30535	30510	30478	30451	30412	30375	30351
房间冷指标（W/m^2）	95.5	95.3	95.1	94.7	94.3	93.9	93.7	93.6	93.5	93.4	93.3	93.2	93.1
房间湿负荷（W）	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275

计算项目	计算时刻										
	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
围护结构冷负荷（W）	7872	8592	9233	9526	9446	8980	7876	8023	8175	8279	8326
人员冷负荷（W）	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742	1742

续表

计算项目	计算时刻										
	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
照明冷负荷（W）	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150
设备冷负荷（W）	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920	12920
房间冷负荷（W）	30684	31404	32045	32338	32258	31792	30688	30835	30987	31091	31138
房间冷指标（W/m²）	94.1	96.3	98.3	99.2	99.0	97.5	94.1	94.6	95.1	95.4	95.5
房间湿负荷（W）	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275	2.275

3．空气调节系统冷负荷计算

（1）空气调节系统设计原则。集中控制室空气调节区设置一套集中空气调节系统，该系统采用 2 台 100%容量的空气处理机组（1 用 1 备）。为满足过渡季利用全新风节能运行，空气处理机组采用双风机。空气冷却采用表冷器，空气加热采用表面式空气加热器，空气加湿采用喷淋湿膜加湿器。空气调节系统设计原则：系统风量按最大送风温差确定；新风比 m 按 10%计算（按最大者取值）；系统漏风系数可取 ψ=1.1；夏季送风机及送风管道温升可取 1℃，回风机温升可取 0.5℃（冬季不考虑）。空气处理过程焓湿图如图 3-19 所示。

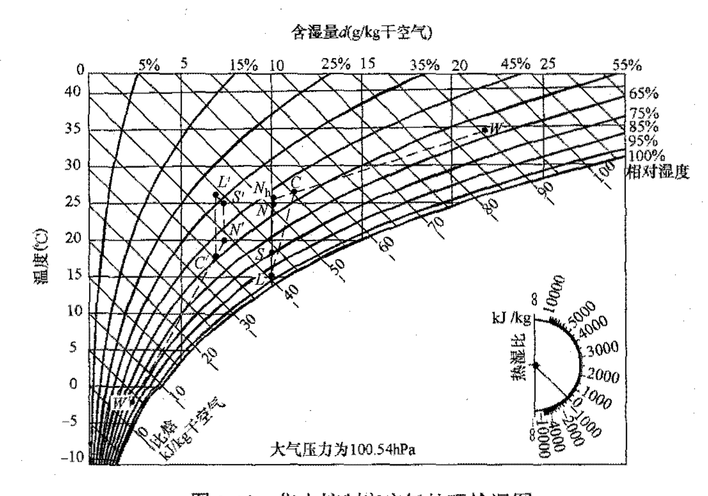


图 3-19 集中控制室空气处理焓湿图

（2）空气调节系统负荷计算步骤。

1）设计状态点空气参数的确定。

由图 3-19 图查得各空气状态点的主要设计参数，见表 3-34，状态点 S'、L'的参数通过计算得到。

表 3-34 各空气状态点的主要设计参数

状态点名称	状态点参数		
	名称及代码	单位	数值
W（夏季室外点）	干球温度 t_{ws}	℃	34.40
	湿球温度 t_{ws}	℃	27.90
	比焓 h_{ws}	kJ/kg	90.60
W'（冬季室外点）	干球温度 $t_{W'}$	℃	−2.20
	相对湿度 $\varphi_{W'}$	%	75.00
	比焓 $h_{W'}$	kJ/kg	3.46
N（夏季室内点）	温度 t_N	℃	25.00

续表

状态点名称	状态点参数		
	名称及代码	单位	数值
N（夏季室内点）	相对湿度 φ_N	%	50.00
	比焓 h_N	kJ/kg	50.91
N'（冬季室内点）	温度 $t_{N'}$	℃	20.00
	相对湿度 $\varphi_{N'}$	%	50.00
	含湿量 $d_{N'}$	g/kg	7.31
S（夏季送风点）	比焓 h_S	kJ/kg	41.74
N_h（夏季系统回风点）	比焓 h_{Nh}	kJ/kg	51.43
C（夏季混合点）	比焓 h_C	kJ/kg	54.20
L（夏季机器露点）	比焓 h_L	kJ/kg	39.50
C'（冬季混合点）	温度 $t_{C'}$	℃	17.80
	含湿量 $d_{C'}$	g/kg	6.89

2）夏季房间送风量及系统风量。

a. 夏季房间送风量。根据夏季最大冷负荷 Q_{max}、室内空气比焓 h_N 及送风比焓 h_S，计算出房间送风量 L_s，即

$$L_s=3.6Q_{max}/(h_N-h_S)$$
$$=3.6\times32338/(50.91-41.74)=12695\ (kg/h)$$

b. 系统风量。根据房间送风量 L_s 及系统漏风系数 ψ，计算得到系统风量 L，并按此风量选择设备容量，即

$$L=\psi L_s=1.1\times12695=13965\ (kg/h)$$

3）夏季系统冷负荷计算。夏季系统冷负荷计算可采用两种计算方法：一是新回风混合点和机器露点的焓差法，二是房间冷负荷、新风冷负荷及系统附加冷负荷分步计算法。

a. 方法一：先根据室外状态点 W、系统回风状态点 N_h 及系统新风比 ε，确定夏季系统混合点 C 及其对应的比焓 h_C；再根据焓湿图查得夏季机器露点 L 的比焓 h_L（根据夏季热湿比线与90%相对湿度相交的点）；然后根据混合点和机器露点的焓差以及系统风量计算出夏季空气调节系统冷负荷 Q，即

$$Q=L(h_C-h_L)/3.6=13965\times(54.20-39.50)/3.6$$
$$=57024\ (W)$$

b. 方法二：将整个系统冷负荷计算过程分为三个部分，各部分冷负荷计算如下：

(a) 房间冷负荷。即为 $Q_{max}=32338$ (W)；

(b) 新风冷负荷。根据新风比 ε、系统风量 L、室外新风的比焓 h_W 和室内空气的比焓 h_N，计算出新风冷负荷 Q_W，即

$$Q_W=mL(h_W-h_N)/3.6$$
$$=10\%\times13965\times(90.60-50.91)/3.6$$
$$=15396\ (W)$$

(c) 系统附加冷负荷。由两部分组成，即送风机及其管道温升和回风机温升引起的冷负荷。

送风机及其管道温升引起的冷负荷，根据系统风量 L、机器露点的比焓 h_L 和送风点的比焓 h_S，计算送风机及其管道温升引起的冷负荷 Q_{sf}，即

$$Q_{sf}=L(h_S-h_L)/3.6$$
$$=13965\times(41.74-39.50)/3.6$$
$$=8689\ (W)$$

回风机温升引起的冷负荷，根据系统新风比 m、系统风量 L、室内空气比焓 h_N 和系统回风比焓 h_{Nh}，计算回风机温升引起的冷负荷 Q_{hf}，即

$$Q_{hf}=L(1-m)(h_{Nh}-h_N)/3.6$$
$$=13965\times(1-10\%)\times(51.43-50.91)/3.6$$
$$=1815\ (W)$$

系统附加冷负荷 Q_f 为

$$Q_f=Q_{sf}+Q_{hf}=8689+1815=10504\ (W)$$

(d) 系统冷负荷 Q_S 为

$$Q_S=Q_{max}+Q_W+Q_f=32338+15396+10504$$
$$=58238\ (W)$$

两种方法计算结果稍有差别，方法二大于方法一（以方法二为基数，约差 2%）。一般情况下，建议采用方法一计算，方法二过于繁琐。

4）冬季系统热负荷计算。

a. 根据系统风量 L 和冬季空气调节热负荷 Q'_{max}，并根据冬季室内温度算出所需要的冬季送风温 $t_{S'}$，即

$$t_{S'}=3.6\,Q'_{max}/(Lc_p)+t_{N'}$$
$$=3.6\times15000/(13965\times1.01)+20=24\ (℃)$$

b. 系统加热量（按湿膜加湿确定），以冬季送风状态点 S'，沿其等焓线与冬季新回风混合点 C' 的等湿线相交，所得交点即为系统加热处理的终状态点 L'，其对应温度即为加热器出口的空气温度 $t_{L'}$，由焓湿图查得 $t_{L'}=26$℃。由加热器出口的空气温度 $t_{L'}$、冬季新回风混合点温度 $t_{C'}$ 和系统风量，可计算出空气调节系统冬季加热量 Q'，即

$$Q'=Lc_p(t_{L'}-t_{C'})/3.6$$
$$=13965\times1.01\times(26-17.80)/3.6=32130\ (W)$$

5）冬季系统加湿负荷计算。根据焓湿图查得冬季送风状态点含湿量 $d_{S'}$、冬季新回风混合点含湿量 $d_{C'}$ 和系统风量可计算得到空气调节系统冬季所需的加湿量 W'_S，即

$$W'_S=L(d_{S'}-d_{C'})/1000$$
$$=13965\times(7.31-6.89)/1000=5.87\ (kg/h)$$

第五节　空气调节系统自动控制

一、自动监控系统简介

（一）系统设置目的

暖通空气调节自动控制的目的，是使暖通空气调节系统始终能够在设计指定的、相对经济合理的状态下运行，并能维持空气调节房间空气参数（如温度、相对湿度等）在一个被规定的设计范围内。对于电厂集中空气调节系统而言，配置一套性能可靠的自动监控系统，不仅能为整个空气调节系统的可靠运行提供保障，而且还能节省空气调节系统的运行费用，减少人工操作，提高综合效益。

（二）系统形式简介

1. 系统结构形式

随着现代化技术的不断发展，暖通空气调节系统控制技术也处于不断革新和发展的状态，尤其是随着计算机及其应用技术和网络通信技术的发展和普及，暖通空气调节系统的自动控制设计水平和设计模式也发生了很大的变化。从20世纪80年代采用常规仪表

的就地控制方式，发展到现在的采用PLC控制系统，实现对多类、多个系统的运行进行集中管理、检测和控制。特别在工程设计中，PLC控制系统已经完全取代了常规仪表控制系统，成为电厂暖通空气调节系统控制的主要模式。

电厂暖通空气调节自动控制通常采用PLC控制系统，对一个相对集中区域（如主厂房区域）中多个暖通空气调节系统进行分散控制、集中管理。PLC控制系统是以分散控制、集中管理为主要特征，由专门的中央管理站通过通信网络与多个现场控制设备连接而成的控制系统。一般控制设备集中或在被控对象附近相对集中放置，既能独立运行，又能通过网络将数据发送至中央管理站，实现数据共享、集中监控。PLC控制系统可使系统风险降低，同时系统的规模组合更加灵活、整体功能更强。暖通PLC控制系统可作为DCS的一个子系统，与全厂辅控网联网，实现辅控室内集中监控。

通信网络系统是PLC控制系统中一个重要组成部分，它以具有通信能力的控制器、智能型传感器、中继器、路由器、网关等网络节点，通过传输介质，实现多点通信，完成被控系统运行的参数、状态、故障信息、控制命令等数据连接和信息共享。

暖通空气调节自动监控系统应包括完整的硬件和软件。硬件设备一般包括操作员站（LCD）、键盘、打印机、PLC程控柜（包含冗余的PLC）、通信交换机柜（通信接口采用双向交换机方式）、系统配电柜、通信网络系统和现场监测、控制设备和执行机构等。暖通空气调节自动监控系统一般通过通信网络接入全厂辅控网。

2. 控制模式

控制模式是指对某一被控对象所采取的一种控制方式，它包括控制结构形式和控制规律。自动控制一般有两种控制结构形式，即前馈控制和反馈控制。在前馈控制中，控制器与被控对象之间只有正向控制作用，输出对输入信号没影响，是一种开环结构。在反馈控制中，系统的输出量会反馈到输入端，由输出信号和输入信号的偏差对系统进行控制，是一种闭环结构。

暖通空气调节系统具有较大的延时性，采用单纯的反馈控制时，会使被控参数整定难，过渡时间长，会产生系统振荡问题。因此暖通空气调节系统控制一般采用前馈与反馈相结合的控制模式。在控制过程中，会涉及各种控制调节方法。常见的控制调节方法有双位调节、分程控制、比例调节、比例积分调节、PID（比例积分微分）调节、串级控制等。

二、常用的现场设备

1. 现场控制器

现场控制器属于自动监控系统中一个重要的组件，它是以CPU为核心，配以适合的RAM、EPROM、存储器和I/O接口构成可编程控制器。控制器通过读取检测装置的输入信号，按照预定的控制策略，产生输出信号，控制相关设备的运行，从而达到控制目的。控制器可大致分为可编程序控制器（PLC）和直接数字控制器（DDC）。一般来说，用于电厂暖通空气调节系统自动控制的，PLC使用得居多，PLC和DDC特点比较见表3-35。

表3-35　PLC和DDC特点比较

名称	特　　点
PLC	主要针对工业程序控制，有很强的开关量处理能力，浮点运算能力不突出，抗干扰能力强，软件编程多采用梯形图，硬件结构专用，随生产厂家而不同，易于构建集散式控制系统（DCS）、现场总线控制系统（FCS）
DDC	有很强的模拟量浮点运算能力，软件编程采用组态，抗干扰能力强，硬件采用标准化总线结构，兼容性较强，易于构建集散式控制系统（DCS）、现场总线控制系统（FCS）

2. 温度、湿度传感器

（1）选用原则。

1）传感器的量程即测温的上、下限值应为测点温度范围的1.2～1.5倍。

2）根据使用目的和工艺参数的误差要求，确定仪表种类和精度等级，传感器的精度应与二次仪表匹配，并高于工艺要求的控制和测量精度。

3）当风道内空气成分含有易燃易爆物质时，应采用本安型温湿度传感器。

4）仪表选型应力求操作方便、运行可靠、经济合理，并在同一工程中尽量减少仪表的品种和规格。

5）检测点的选择和仪表的安装位置应具有代表性，湿度传感器安装位置应有空气流通，安装位置附近不应有热源和水滴。

6）应尽量避免热传导和辐射引起的误差，可采用包绝热层、防辐射罩等措施。

7）应保证测量元件有足够的机械强度。

8）测量元件的安装位置应便于维护、校验与拆装。

（2）主要类型。常用温度传感器的分类及主要特点见表3-36。常用湿度传感器的分类及主要特点见表3-37。

表 3-36　　常用温度传感器的类型及主要特点

类型	基本原理	测温范围（℃）	主要特点
双金属温度计	热膨胀效应	−100～+600	机械强度大，能记录、报警和自控，用于双位控制和简单的恒温控制
热电阻	热阻变换：金属电阻值随温度变化	铜：−50～+150； 铂：−200～+850； 镍：−100～+300	精度高，热惰性较大。能用作远距离、多点测量和记录、报警、自控，适用于供暖空气调节系统测量温度的平均值（非瞬态值），有利于提高自控系统的稳定性
热敏电阻	热阻变换：半导体电阻值随温度变化	−50～+450	精度高，反应灵敏；具有体积小、热惯性小、耐腐蚀、结构简单、寿命长的特点，但线性度和互换性差
热电偶	热电变换：两个金属材料的热电势差随温度变化	铂铑 10-铂：0～+1300（1600）； 铂铑 30-铂铑 6：300～+1600（1800）； 镍铬-镍硅：0～+1300； 铜-康铜：−200～+400	精度高，热惰性较小，能用作远距离、多点测量和记录、报警、自控，测温范围宽，造价低，但需冷端补偿
红外温度计	物体的红外辐射强度与温度有一定关系	0～+200； 100～2000	非接触测量，误差较大
半导体二极管	PN 结电压变化	−150～+1500	线性度较好，灵敏度高，体积小
集成电路	将传感元件、放大电路、温度补偿电路等集成在一块极小的芯片上	−55～+150	线性度较好，灵敏度高，体积小，稳定性好，输出信号大

注　本表摘自参考文献［6］。

表 3-37　　常用湿度传感器的类型及主要特点

类型	原理结构	量程与精度	特点及应用
干湿球湿度计	两只温度计，一为干球测空气温度，另为保持湿润测湿球温度，干、湿球温度差反应相对湿度	环境温度：0～40℃； 相对湿度：20%～100%； 测量精度：±2%～5%RH	可远传、自动记录和控制。需要有维持湿球温度的措施，如水、纱布和容器等
电容式湿度计	极板电容量正比于极板间介质的介电常数，空气介质的介电常数与空气相对湿度成正比	环境温度：<180℃； 相对湿度：0～100%； 测量精度：±2%～5% RH	测量范围宽、精度高、体积小、惯性小、线性及重复性好、响应快、寿命长、抗污染稳定性强，舒适性空气调节系统使用量大，但在高湿度时湿滞现象严重
氯化锂电阻式湿度计	氯化锂吸湿量与空气相对湿度有关，吸湿后氯化锂电阻减小，用热敏电阻既作温度补偿又作温度测量，成为温湿度传感器	环境温度：0～50℃； 相对湿度：15%～95%； 测量精度：±1%RH	结构简单、体积小、响应快、灵敏度高，但互换性差、易老化、受环境温度影响大、怕污染，常用于高精度适度控制系统
硫酸锂电阻式湿度计	硫酸锂感湿基片两面涂上碳电极，基片两级间的电阻值随空气相对湿度而发生变化	相对湿度：0～100%	测量范围宽、不怕污染、寿命长、稳定性好、响应快，但年变化率较大（2.5%RH/年）
氯化锂露点式湿度计	氯化锂露点传感器测露点温度，热电阻测空气温度，根据露点温度和空气温度得相对湿度	环境温度：0～50℃； 相对湿度：15%～90%； 测量精度：±2%～5% RH	结构简单、体积小、响应快、灵敏度高，但互换性差、易老化、受环境温度影响大，需温度补偿
自动光电露点计	利用光敏感元件反复接受电光源光束，感温元件测出的镜面温度而测得气体露点	露点温度：−40～100℃； 测量精度：±1%～2%RH	可用来测量非腐蚀性气体的露点

注　本表摘自参考文献［6］。

3. 压力、压差传感器

（1）选用原则。

1）传感器的工作压力（压差）应大于该点可能出现的最大压力（压差）的 1.5 倍，量程应为该点压力

（压差）正常变化范围的1.2～1.3倍，一般被测压力的最小值应不低于仪表全量程的1/3为宜。

2）仪表精度等级的选取是根据工艺生产上所允许的最大测量误差来确定的。

3）根据现场使用条件，并针对被测介质的性质采取相应的隔热、防冻、防腐和防堵措施。

4）测压点应选在直管段上。测量液体时，取压点应在管道的下部；测量气体时，取压点应在管道的上部。

5）导压管与介质流向垂直，其管口应与器壁平齐。引压管应尽可能短。

6）在同一水系统上安装的压力（压差）传感器的取压点应处于同一标高，如无法满足时，应考虑静压修正。

7）测量元件的安装位置应便于维护、校验与拆装。

（2）主要类型。常用压力、压差传感器的类型及主要特点见表3-38。

表3-38　　常用压力、压差传感器的类型及主要特点

类型		基本原理	精度	测量范围	特点及应用
名称	分类				
弹性式	弹簧管式、膜片式、膜盒式、波纹管式、板簧式	弹性元件在压力作用下产生弹性变形	0.1%～2.5%	−0.1～0MPa ±80～±40kPa 0～60kPa 0～1000MPa	结构简单、使用方便、价廉、测量范围宽，用来测量压力及真空度，可就地指示、远传、控制、记录或报警
电气式	电位器式、应变片式、电感式、霍尔片式、振频式、压阻式、电容式	将压力转化成电阻、电容、电感和电势等电量	0.2%～2.5%	7×10^{-5}～500MPa	反应快、测量范围广、便于远传，其中电位器式由于存在摩擦，仪表的可靠性较差 应变片具有较好的动态特性，适用于快速变化的压力测量

注　本表摘自参考文献［6］。

4. 流量计

（1）选用原则。

1）被测介质应充满全部管道界面且连续流动，管道内流动状态应稳定。

2）流量传感器量程应为管道最大工作流量的1.2～1.3倍。

3）流量传感器安装位置前后应有保证产品所要求的直管段长度。

4）应选用具有瞬态值输出的流量传感器。

5）应根据需要检测的质量/体积流量范围选取流量计，必要时对介质进行密度修正。

6）流量计接口管径应与工艺管道匹配，否则应变径并留出相应长度的直管段。

（2）主要类型。流量分为瞬时流量和总流量，可用体积流量（单位为m^3/h）和质量流量（单位为kg/h）表示。由于目前流量计种类繁多，测量原理、方法和结构特性各不相同。常用流量计的类型及主要特点见表3-39。

表3-39　　常用流量计的类型及主要特点

类型	基本原理	适用介质	测量范围	主要特点	应用条件
差压式标准节流装置：孔板、喷嘴、文丘里管	测量流体流经节流装置时产生的压力差	空气、蒸汽、水（液体）	适用管径D（mm）：$D\geqslant50$mm，100mm$\leqslant D\leqslant$800mm； 测量精度±2%	成熟、常用，安装简单，价格便宜，压力损失较大	流态处于紊流区，节流装置中心与管道中心重合，端面垂直，流向应正确
动压式毕托管、动压平均管	利用测量流体的全压和静压的差值	空气、蒸汽、水（液体）		毕托管：测点流速； 动压平均管：测截面平均流速	要求全压孔内的雷诺数$Re>200$，测孔应正对气流方向
速度式涡轮流量计	利用测量流体冲击涡轮叶片使其旋转，由涡轮的转数测得流量值	空气、蒸汽、水（液体）	测量精度： 普通型±0.5%～±1%； 精密型，±1%～±2%	精度高，复现性好，压力损失小，量程宽，惯性小，便于远传及控制	流态处于紊流区必须水平安装，仪表前应装过滤器
时差法超声波流量计	利用超声波脉冲在通过液体顺逆两	水（液体）	测量精度：±1%	非接触式测量，无压力损失，低流速测量精	管壁结垢等对测量信号和精度有影响，对

续表

类型	基本原理	适用介质	测量范围	主要特点	应用条件
时差法超声波流量计	向上传播速度之差，求得圆管内液体的流量			度高，适应管径范围广，便于远传及控制	于固定仪表一般选用插入式安装，并应密封
电磁流量计	利用导电体在磁场中远动会产生感应电压的原理，通过外加磁场测量感应电压来得到流体的流速	导电液体	测量精度：±1%～±2%	非接触式测量，无机械活动部件，压力损失小，性能可靠	应垂直于流体流动方向安装（不许倾斜），安装处应无电磁干扰，否则需防磁保护，不能用于软化水和纯水测量

注　本表摘自参考文献［6］。

5. 常用执行器

执行器是自动监控系统中一个重要的组成部分，它接受由控制器发出的控制信号，对被控对象实现开关、调节等过程进行控制。自动监控系统中常用的执行器一般有电磁阀、电动调节阀、电动调节风阀、电加热器调节装置、电动机启动和变速调节装置等。在电厂暖通空气调节系统中常用的执行器主要有电动调节阀、电动调节风阀。

（1）电动调节阀。

1）电动调节阀的组成和形式。电动调节阀由电动执行机构和调节阀组成，其电动执行机构具有能源获取方便、信号传输快、便于远传的优点，特别适合建筑设备自动化系统。电动调节阀种类按其使用功能可分为开关型和调节型；按阀体流道结构形式，可分为直通式调节阀和三通式调节阀。常用调节阀的结构形式及主要特点见表 3-40。

表 3-40　　常用调节阀的结构形式及主要特点

类型	分类	结构形式	主　要　特　点
两通阀	单座		结构简单、价廉、关闭时泄漏量小，阀座前后的压差对阀芯产生的不平衡力较大，适用于低压差的场合
	双座		两个阀芯阀座，结构复杂，阀座前后的压差对阀芯所受的不平衡力非常小，相对流通能力较大，适用于压差较大的场合
三通阀	分流	C A B	两个阀芯上、下同步移动时，一路流量增加，另一路流量减少。总流量 C 始终为两个分流量（A、B）之和
	合流	A C B	

注　表中插图摘自参考文献［6］。

2）调节阀的流量特性。调节阀的流量特性反映了调节阀的相对流量（G/G_{max}）与相对开度（L/L_{max}）之间的关系，其函数表达式为

$$G/G_{max}=f(L/L_{max}) \tag{3-65}$$

式中　G——调节阀在某一开度时的体积流量或质量流量，m^3/h 或 kg/h；

G_{max}——调节阀在全开状态时的体积流量或质量流量，m^3/h 或 kg/h；

L——调节阀在某一开度时阀芯的行程，mm；

L_{max}——调节阀在全开状态时阀芯的行程，mm。

由于调节阀的种类很多，不同种类的调节阀流量特性也不同，而调节阀流量特性取决于阀芯曲面的形状。一般用理想流量特性来表述调节阀的调节性能，理想流量特性的定义：在调节阀前后压差恒定的情况下得到的流量特性。调节阀一般有四种流量特性，图 3-20 所示为可调比[1] R=30 时的四种理想流量特性曲线。

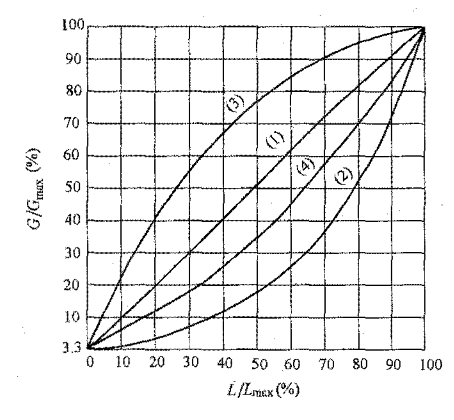


图 3-20　调节阀的理想流量特性曲线（R=30）

注：本图摘自参考文献［6］。

曲线（1）：直线流量特性，就是单位行程变化所引起的流量变化相等。其特点：流量小时流量的相对变化大，不易微调和控制；而流量大时流量的相对变化小，不易反应。一般适用于调节负荷变化不大、精度要求不高的系统。

曲线（2）：等百分比流量特性，放大系数 K 随开度的增大而递增，即行程在小开度时流量变化小，在大开度时流量变化大。这说明接近全关时工作缓和平稳，接近大开度时工作灵敏有效。一般适用于负荷变化大的系统。

曲线（3）：快开流量特性，行程较小时流量就较大，随着行程增大，流量很快达到最大。一般适用于双位调节的系统。

曲线（4）：抛物线流量特性，流量特性是一条二次抛物线，它介于直线流量特性和等百分比流量特性之间。适用于水系统三通调节阀。

[1] 可调比：最大流量与最小流量之比。

三通调节阀的流量特性也符合理想流量特性的规律。其流量特性曲线如图 3-21 所示。

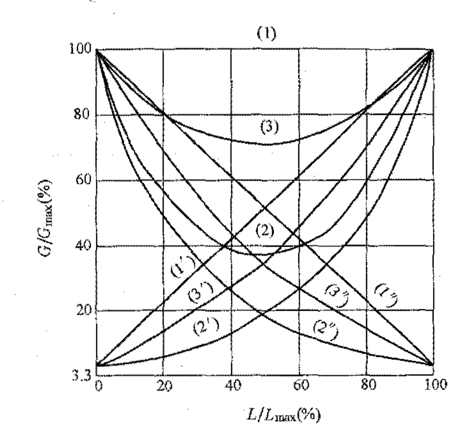


图 3-21　三通调节阀流量特性曲线图

（1）—三通调节阀总流量的直线流量特性；（1′）（1″）—三通调节阀分支流量的直线流量特性；（2）—三通调节阀总流量的等百分比流量特性；（2′）（2″）—三通调节阀分支流量的等百分比流量特性；（3）—三通调节阀总流量的抛物线流量特性；（3′）（3″）—三通调节阀分支流量的抛物线流量特性

注：本图摘自参考文献［6］。

上述现象都是在理想状态下，而实际工程中调节阀前后压差是随负荷变化而改变。因此，应采用工作流量特性来表述调节阀实际工作时调节性能。工作流量特性是指在调节阀前后压差随负荷变化的工作条件下，调节阀的相对行程与相对流量之间的关系。

直通式调节阀的工作流量特性按两种情况考虑，即调节阀有串联管道时的工作流量特性和调节阀有并联管道时的工作流量特性。

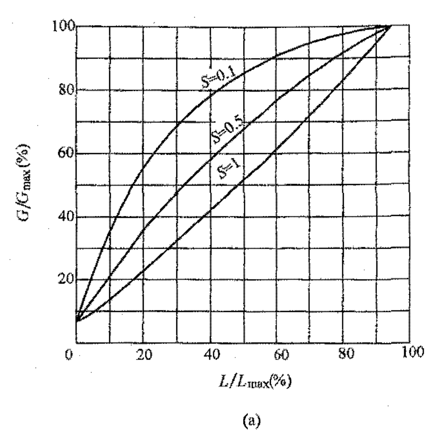
调节阀在串联管道时和有并联管道时，其工作特性曲线如图 3-22、图 3-23 所示。

3）调节阀的流通能力。

a．流通能力的定义。当阀门全开，阀两端压差 $\Delta p=10^5$Pa，流体密度 ρ=1g/cm^3 时，每小时流经调节阀的流量（单位为 m^3/h 或 kg/h）称为流通能力。一般用符号 K_v 表示。

b．流通能力的计算。由于电厂空气调节系统中需要调节的介质基本为水或蒸汽（按饱和蒸汽计算），其 K_v 值计算式见表 3-41。

c．调节阀的流量特性一般根据配管的情况，即调节阀的压力损失比 S 选择，见表 3-42。



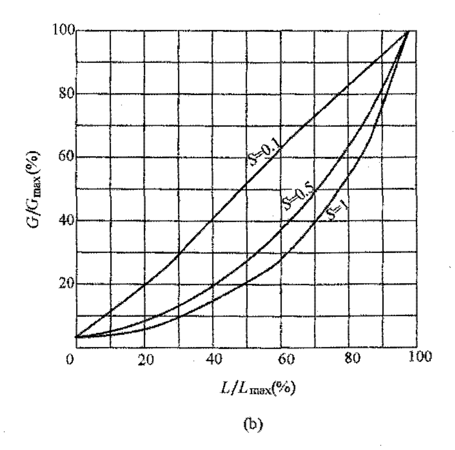
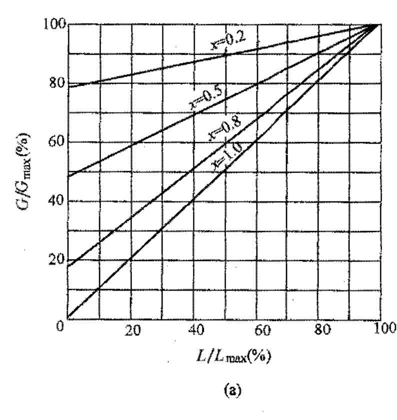


图 3-22　串联管道时调节阀的工作特性曲线（G/G_{max} 作参考值）

（a）直线特性；（b）等百分比特性

注：1．S 为调节阀全开时的压力损失 Δp_{min} 与调节阀在串联支路的总压力损失 Δp_0 之比，称为阀门的压力损失比，也称为阀权度。

2．本图摘自参考文献［6］。



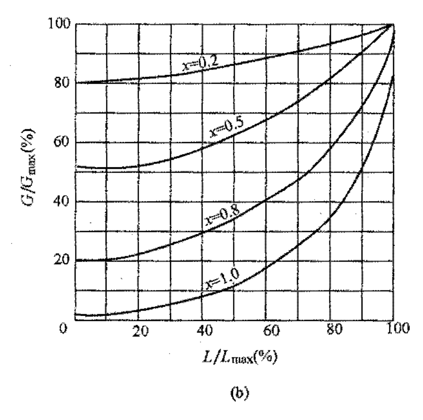


图 3-23　并联管道时调节阀的工作特性曲线（G/G_{max} 作参考值）

（a）直线特性；（b）等百分比特性

注：1．x 为调节阀在并联管道时阀的全开流量与总管最大流量之比。

2．本图摘自参考文献［6］。

表 3-41　　不同介质的流通能力计算式

介质	判断条件	计 算 公 式
一般液体（如水等非高黏度液体）		$K_v=\dfrac{316G_v}{\sqrt{(p_1-p_2)/\rho}}(\mathrm{m^3/h})$ $K_v=\dfrac{316G_m}{\sqrt{(p_1-p_2)\rho}}(\mathrm{kg/h})$
饱和蒸汽	$p_2>0.5p_1$	$K_v=\dfrac{10D_m}{\sqrt{\rho_2(p_1-p_2)}}(\mathrm{kg/h})$
	$p_2<0.5p_1$	$K_v=\dfrac{10D_m}{\sqrt{\rho_2(p_1-p_2)}}=\dfrac{10D_m}{\sqrt{\rho_2'(p_1-p_2/2)}}=\dfrac{14.14D_m}{\sqrt{\rho_2 p_1}}(\mathrm{kg/h})$

注　1．G_v 为体积流量，$\mathrm{m^3/h}$；G_m 和 D_m 为质量流量，kg/h；p_1 为调节阀前绝对压力，Pa；p_2 为调节阀后绝对压力，Pa；ρ 为调节阀处液体密度，$\mathrm{kg/m^3}$；ρ_2 为调节阀出口处蒸汽密度，$\mathrm{kg/m^3}$；ρ_2' 为蒸汽密度，$\mathrm{kg/m^3}$，可根据 $p_2'=p_1/2$ 和蒸汽温度查表得到。

2．本表摘自参考文献［6］。

表 3-42 按配管情况选择阀门的特性

配管状态	S=1.0～0.6		S=0.6～0.3		S<0.3
实际工作特性	直线	等百分比	直线	等百分比	不适合控制
所选流量特性	直线	等百分比	等百分比	等百分比	

注 本表摘自参考文献[6]。

由表 3-42 可见，等百分比的流量特性适用性较广。为了避免通过阀门的液体流速过高，宜使阀门工作状态的 $S \leqslant 0.7$。

4）调节阀的选择原则和方法。在选择调节阀时，应考虑被调介质的工艺条件、生产流程及流体特性，并按如下原则和方法选择：

a．直通单座阀结构简单，关闭状态下泄漏量少，适合用于前后压差较小的场合，常用于蒸汽流量的调节。

b．直通双座阀结构复杂，关闭状态下泄漏量大，适合用于前后压差较大的场合。

c．蒸汽调节阀应选用带有弹簧复位关闭功能，因为电动调节阀在无信号状态时将保持阀位停滞状态，所以在断电时，可依靠弹簧复位装置关闭阀门，阻止蒸汽流入用汽设备。

d．在电厂暖通空气调节自动监控系统中，为免受周围环境电场和磁场的干扰，作为模拟量调节的电动执行机构输入的控制信号，宜采用 4～20mA 电流信号，输出的反馈信号，可采用 0～10V 电压信号。

5）调节阀口径选择应按阀门的流通能力 K_v 值来确定，主要步骤见表 3-43。

表 3-43 调节阀口径选择步骤

步骤	计算参数	公　式	说　明
设计	最大工作流量	$G_{max}=G\times(1.0\sim1.1)$ G 为设计负荷下的管路流量	
	工作压差	$\Delta p_{min}=\dfrac{S}{1-S}\Delta p$ 一般情况下选取：S=0.3～0.6（两通阀），S=0.5（三通阀，水量全部流过任一通路时）	（1）水系统：$\Delta p \geqslant \Delta p_0$。 Δp_0 为被控对象（如表面式换热器等）及所接附件的水流阻力。 （2）蒸汽系统：$\Delta p=0.8\ (p_1-p_b) \leqslant 0.5p_1$。 p_b 为疏水器背压（凝结水起点的绝对压力），一般 $p_b=0.4\sim0.8p_1$（因疏水器形式而定）
	流通能力	K_v，见表 3-41	
选型	产品额定流通能力	K_v	按产品样本中选取流通能力大于或最接近 K_{vmax} 值这一挡的口径
验算	开度	（1）流量 G_i 时的阀门开度为 $K=\left.\dfrac{L}{L_{max}}\right\vert_{G=G_i}$ （2）直线流量特性调节阀为 $K=\left[1.03\sqrt{\dfrac{S}{S+\left(\dfrac{K_v^2\Delta p/\rho}{G_i^2}-1\right)}}-0.03\right]\times100\%$ （3）等百分比流量特性调节阀为 $K=\left[\dfrac{1}{1.48}\lg\sqrt{\dfrac{S}{S+\left(\dfrac{K_v^2\Delta p/\rho}{G_i^2}-1\right)}}+1\right]\times100\%$	希望：最大工作开度 $K_{max} \leqslant 90\%$；最小工作开度 $K_{min} \geqslant 10\%$
	可调比	$R=10\sqrt{S}$	希望：R 在 10 左右，$R>Q_{max}/Q_{min}$。 当 $S \geqslant 0.3$ 时，可不验算
调整	若调节阀不能满足设计的最大流量、最小流量的调节要求时，可采用两个调节阀进行分程控制，也可选用一台可调比较大的特殊调节阀来满足使用要求		

注 本表摘自参考文献[6]。

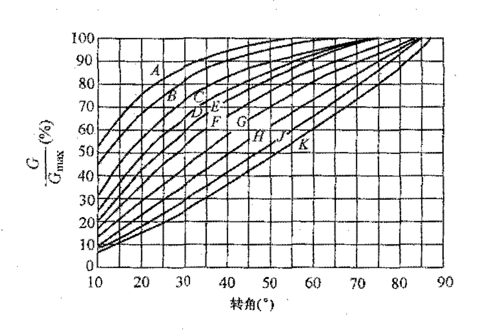
（2）电动调节风阀。电动调节风阀是空气调节系统中必不可少的设备，由风量调节阀和电动执行机构组合而成。风量调节阀的结构形式很多，其特点也不尽相同。常见的风量调节阀结构形式和特点见表 3-44。

表 3-44　　常用的风量调节阀结构形式和特点

类型		结构简图	机理与特点
单叶	蝶式		（1）根据叶片遮挡面积调节风量，有矩形和圆形。 （2）结构简单，密封性相对较好，特别适用于低压差大流量的场合
多叶	平行		（1）根据叶片遮挡面积调节风量，有矩形。 （2）结构复杂，密封性相对较差，各叶片的动作方向一致
	对开		（1）根据叶片遮挡面积调节风量，有矩形。 （2）结构复杂，密封性相对较差，各相邻叶片的动作方向相反

注　表中插图摘自参考文献［6］。

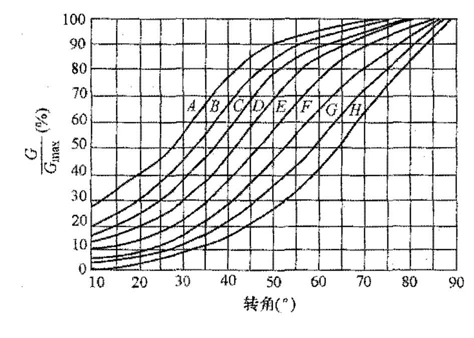
风量调节阀的工作流量特性与压力损失比 S 值有关，如图 3-24、图 3-25 所示。



曲线号	S值
A	0.005~0.01
B	0.01~0.015
C	0.015~0.025
D	0.025~0.035
E	0.035~0.055
F	0.055~0.09
G	0.09~0.15
H	0.15~0.20
J	0.20~0.30
K	0.30~0.50

图 3-24　平行式多叶调节阀的工作流量特性曲线

注：本图摘自参考文献［6］。



曲线号	S值
A	0.0025~0.005
B	0.005 ~ 0.0075
C	0.0075 ~ 0.015
D	0.015 ~ 0.025
E	0.025 ~ 0.055
F	0.055 ~ 0.135
G	0.135 ~ 0.225
H	0.225 ~ 0.375

图 3-25　对开式多叶调节阀的工作流量特性曲线

注：本图摘自参考文献［6］。

设计注意事项：

1）由于实际工程设计中很少单独进行风阀的尺寸选择，因此风阀的压力损失比均偏小，调节性能畸变较严重。

2）调节用风阀结构形式，宜采用对开多叶型。

3）对于较大面积的风管，可采用多个风阀并联布置，以便保证足够的风阀强度和执行力矩。

4）对于截面大，且风速较大的场合（如空气处理设备的出口等），风量调节阀应配置具有较大力矩的电动执行机构。

三、控制系统技术要求

1. 系统配置原则

空气调节自动监控系统的配置，主要依据空气调节系统的功能（如参数控制、工况切换、节能运行控制等）、控制系统覆盖的范围（所需控制的系统数量）、运行管理的要求和系统的经济性。从空气调节系统的功能要求看，已从原来单纯为满足工艺设备运行要求，向既满足设备运行要求，又同时满足运行人员舒适性要求过渡。尤其是目前国家能源政策要求，空气调节系统的节能运行控制已越来越受到人们的关注，已成为空气调节系统控制设计中不可忽视的环节。因此，空气调节系统自动控制设计应遵循以下基本原则：

（1）自动监控系统的设计水平，应与全厂总体控制水平相适应。

（2）对发电机组单机容量为 300MW 及以上的电厂，主厂房区域的空气调节系统宜独立设置 PLC 自动监控系统，并可作为辅助系统的一个子系统纳入电厂 DCS 控制系统。

（3）当空气调节自动监控系统作为辅助系统的一个子系统时，其控制装置应与整个控制系统的控制装置要求相匹配。其他区域的空气调节系统自动控制可根据具体工程的总体控制要求匹配。

（4）自动监控系统均应设有手动控制的功能。

（5）自动监控系统中的执行机构形式一般以电动驱动为主，只有在现场条件允许时，才可采用气动形式。

（6）自动监控系统应采用合理的冗余配置和诊断至模块级的自诊断技术，使其具有高度的可靠性。系统内任一组件发生故障，均不应影响整个系统的工作。

（7）自动监控系统应易于组态、易于使用、易于扩展。

（8）自动监控系统的监控、报警和自诊断功能应高度集中在操作员站 LCD 画面上，并能在打印机上打印。

（9）自动监控系统内所有模件均应是固态电路，标准化、模件化和插入式结构。模件应清晰地标明各元器件，并带有 LED 自诊断显示。

（10）自动监控系统若使用随机存取存储器（RAM），则应有电池作数据存储的后备电源，能保证 CPU 中的程序和数据在规定的时间段内不丢失。电池的更换不应影响可编程控制器和终端计算机的工作。

（11）自动监控系统应对传感器及输入、输出信号的屏蔽提出建议，以满足其系统设计要求。系统应能接受采用普通控制电缆的数字量输入和输出。

（12）自动监控系统，每种类型的 I/O 点应有 10% 的裕量，并应列出实际 I/O 配置清单。

2. 自动监控系统功能要求

自动监控系统至少应包括以下功能：

（1）对系统所有监控点进行集中监控，所有监控参数均可在操作员站上设定。

（2）具有手动控制功能，可在调试、检修、运行期间对各系统分别进行控制。

（3）显示各监控点的参数、各运转设备及部件的状态、各系统的动态图形及各项历史资料。

（4）设备、部件联锁停机功能，如与火灾报警系统的联锁停机等。

（5）系统的主机发生故障时，所有的资料、数据、程序均不会消失。

（6）具有声光报警、记录及打印功能，其范围包括运行设备故障、各监控点的参数越限、存储的历史资料、运转设备（如风冷热泵机组、水泵、空气处理机组及排风机等）的累计运行小时数、设备发生故障时的时间及地址、设备发生故障前 10h 内的运行工况。

（7）设备故障后能在各现场控制器上手动重新启动，系统运行正常后投入自动。

四、空气调节系统监测与控制要求

（一）监控范围及系统形式

1. 监控目的

空气调节系统监控目的，是通过对被控区域参数监测和空气调节设备的运行控制，使被控区域内的空气状态（温度、相对湿度和洁净度等参数）达到预期设计状态，同时也要满足节能运行的要求。

对于主厂房空气调节系统而言，系统监控范围主要有集中控制室、热控电子设备室、电气继电器室、汽水取样间、精处理控制室等空气调节系统。一般工程设计中，还将主厂房范围的主要通风系统和降温通风系统，以及集中加热站和集中制冷站均纳入自动监控系统中。主厂房空气调节系统一般有如下形式：

（1）集中控制室、热控电子设备室、电气继电器室空气调节系统，一般采用集中式双风机一次回风系统，空气处理设备一般为多功能组合空气调节机组。

（2）汽水取样间和精处理控制室空气调节系统，一般采用就地式单风机一次回风系统，空气处理设备为一般功能的空气调节机组。

（3）主厂房内相对集中的办公区域，空气调节系统的形式一般为风机盘管+新风机组。

2. 监控对象的系统形式

根据上述范围，主厂房空气调节范围内监控对象的系统形式主要有以下四种：

（1）双风机一次回风空气调节系统。

（2）单风机一次回风空气调节系统。

（3）新风处理空气调节系统。

（4）风机盘管空气调节系统。

（二）典型空气调节方案的自控系统配置

1. 风机盘管的监控

由于风机盘管空气调节系统一般用于室内温度、相对湿度精度要求不高的场合，因此其控制方式也较为简单。风机盘管控制一般有两种：手动控制和温度自动控制。一般由项目的建设标准和被控区域的重要程度决定。

（1）手动控制。即人为手动调节风机盘管的风量调节开关（风机高/中/低转速）改变送风量，来达到室内舒适要求。

（2）温度自动控制。一般采用由温度控制器控制（温度控制+3 挡风速控制）电磁阀的开关及风机的风速选择，实现室温控制的目的。

2. 新风系统的监控

新风系统一般具有新风空气过滤、冷却或加热、加湿以及送风机运行等控制功能。因此，控制系统的配置应与之对应。以典型表冷器为例的新风系统监控配置如图 3-26 所示。

3. 一次回风空气调节系统的监控

一次回风空气调节系统一般具有新回风混合、空气过滤、冷却、加热、加湿以及送风机运行等控制功能。因此，控制系统的配置也应与之对应。典型表冷器的单风机一次回风空气调节系统监控配置如图 3-27 所示。

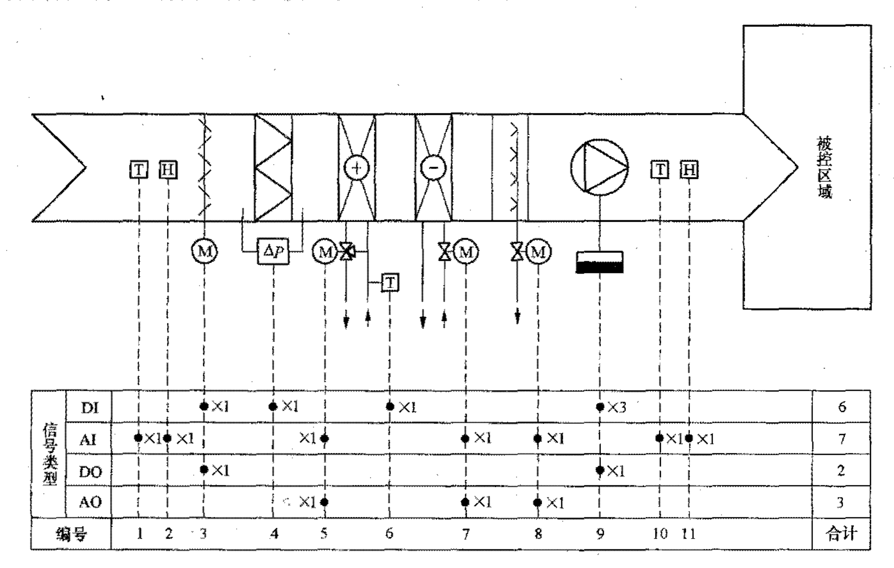


图 3-26　新风系统监控配置图

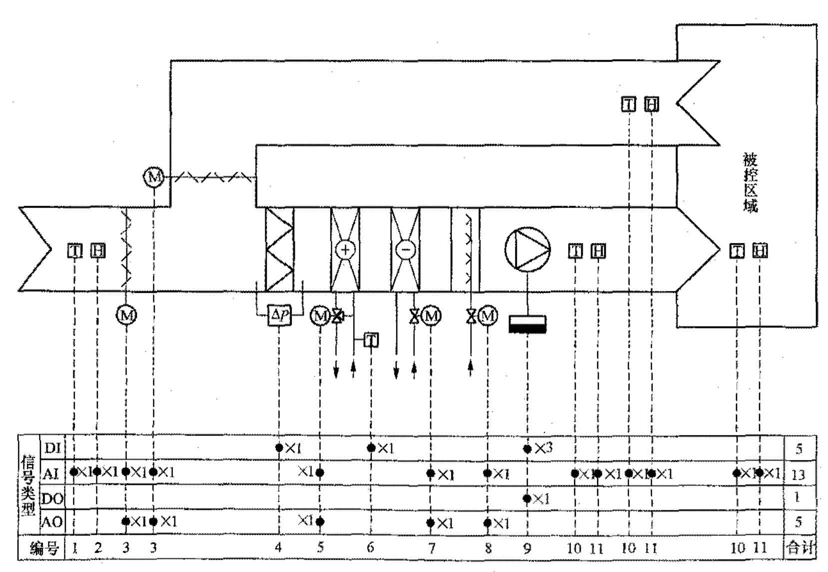


图 3-27　单风机一次回风空气调节系统监控配置图

4. 双风机一次回风空气调节系统的监控

双风机一次回风空气调节系统一般具有回风机运行、系统排风/回风/新风阀联动的变新风、空气过滤、冷却、加热、加湿以及送风机运行等控制功能，还能设置多工况节能运行控制功能。因此，控制系统的配置也应与之对应。典型表冷器的双风机一次回风空气调节系统监控配置如图3-28所示。

5. 多工况节能控制

（1）节能控制原则。

1）有效地利用室外新风改善室内空气品质，以及随季节的变化，为空气调节系统提供天然的可利用的冷量和热量。

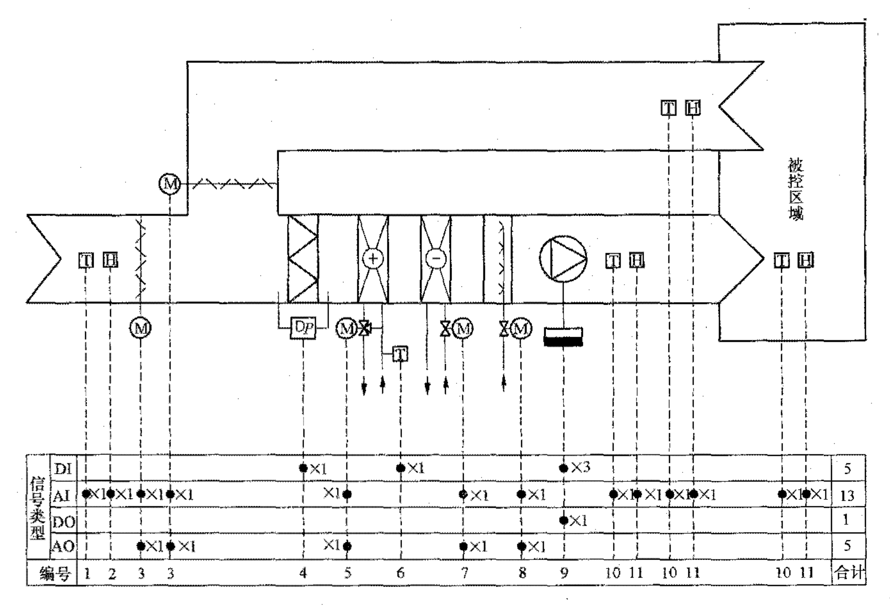


图3-28　双风机一次回风空气调节系统监控配置图

2）要充分考虑并利用室内空气参数允许波动范围的边界条件，尽可能多地节约人工能源的消耗，尤其是对舒适性空气调节系统而言。

3）设计中应同时考虑空气调节系统各方面的运行控制条件，配置必要的控制装置。

4）根据不同形式的空气调节系统，选择经济、合理的节能控制方法，尤其是对于全年运行的集中空气调节系统。

（2）运行工况分区方式。空气调节系统节能运行，是基于对空气调节系统全年运行工况的节能分析和运行控制。节能运行，是根据室内要求和室外空气参数的变化，利用某些室内外空气的参数，在焓湿图上将全年划分为若干个运行工况分区，并为各分区设计合理的控制方式，使空气调节系统在全年运行期间尽可能的降低运行能耗。

空气调节系统全年节能运行工况分区方法主要有等焓线分区法、等温等湿线分区法和最小能耗分区法。一般等焓线分区法常用于以等焓冷却加湿方法作为空气处理设备的空气调节系统；等温等湿线分区法通常用于以表冷式空气冷却器为空气处理设备的空气调节系统，分区控制较为简单；最小能耗分区法虽然能获得较好的节能效果，但系统控制较为复杂。

一般情况下，电厂空气调节系统热湿处理：空气的冷、热处理常采用表面式空气冷却器、表面式空气加热器；空气的加湿处理常采用水加湿器（如湿膜加湿器、水喷雾加湿器）或蒸汽加湿器。常采用以下两种方法进行工况分区控制：

1）焓值+温度分区法：夏季与过渡季的工况转换是以室内空气焓值为界线，冬季与过渡季的工况转换是以空气调节区热平衡温度（即为室内散热与失热达到平衡时的室外空气温度）为界线。

2）等温等湿线分区法：是以冬、夏季室内温度及相对湿度允许的波动范围为控制基面，利用等温线和等湿线作为分区的边界，将室外空气状态划分为5个系统运行工况分区，此种分区方法具有分区少、空气处理设备简单的特点。以下以等温等湿线分区法为例，对各分区空气处理与控制进行分析。

等温等湿线分区法如图3-29所示，空气调节系统分区的运行工况控制见表3-45。

五、空气调节系统的监控举例

1. 系统范围

某电厂集中控制室双风机一次回风空气调节系统，其流程如图3-30所示，主要被控设备及部件如下：

两台 100%容量的空气处理机组，两台机组互为备用，每台机组包括以下部件：

（1）送风机和回风机各 1 台。

（2）干蒸气加湿器 1 台，带电动蒸汽调节阀 1 个，调节型，电源 24V AC，控制信号 4～20mA，反馈状态反馈信号 0～10V。

（3）冷水和热水电动调节阀各 1 个，调节型，电源 24V AC，控制信号 4～20mA，反馈状态反馈信号 0～10V。

（4）机组进口、出口电动切换风阀 1 个，开关型，并设有阀位反馈信号。

（5）机组排风、混风和新风电动调节风阀各 1 个，调节型，并设有阀位反馈信号，电源 24V AC，控制信号 4～20mA，反馈状态反馈信号 0～10V。

（6）初效空气过滤器和中效空气过滤器各 1 台。

2. 系统控制要求

（1）室内温度、相对湿度控制及监测。室内温度、相对湿度的要求见表 3-46。

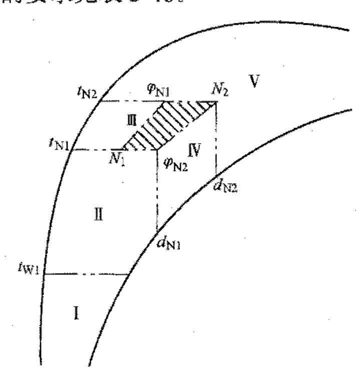


图 3-29 按等温等湿线划分控制模式图

t_{N1}—室内允许的最低温度；φ_{N1}—室内允许的最低相对湿度；t_{N2}—室内允许的最高温度；φ_{N2}—室内允许的最高相对湿度；t_{W1}—冬季预热开启的室外温度，取 1℃；d_{N1}—室内允许最低温度时最大含湿量；d_{N2}—室内允许最高温度时最大含湿量；N_1—冬季允许的室内空气状态点；N_2—夏季允许的室内空气状态点

表 3-45 空气调节系统分区的运行工况控制

运行分区	分区界线	空气处理过程	调节控制量			
			室内空气参数		$t_W \leq 1$℃	新风量
			温度 t_N	相对湿度 φ_N		
Ⅰ	$t_W \leq t_{W1}$		$C \to C_1$，调节加热量，控制室温	$C_1 \to S$，调节蒸汽加湿量，控制室内相对湿度	调节新风预热量（一般≥5℃）	最小新风比
Ⅱ	$t_{W1} < t_W \leq t_{N1}$ $d_W \leq d_{N1}$		（1）$C \to C_1$，调节加热量，控制室温。	调节蒸汽加湿量，控制室内相对湿度		（1）最小新风比
		二次加热量为 0 时：	（2）当加热量为 0 时，调节新回风比，控制室温			（2）当加热量为 0 时，调节新回风比
Ⅲ	$t_{N1} < t_W \leq t_{N2}$ $\varphi_N \leq \varphi_{N2}$		调节表冷式空气冷却器冷水量，允许室温在以下范围：$t_{N1} < t_N \leq t_{N2}$	调节蒸汽加湿量，使相对湿度在以下范围：$\varphi_{N1} < \varphi_N \leq \varphi_{N2}$		全新风

续表

运行分区	分区界线	空气处理过程	调节控制量			
			室内空气参数		$t_W \leqslant 1℃$	新风量
			温度 t_N	相对湿度 φ_N		
Ⅳ	$d_{N1} < d_W \leqslant d_{N2}$ $\varphi_W > \varphi_{N2}$		调节表面式空气冷却器产（制）冷量，控制室温在以下范围： $t_{N1} < t_N \leqslant t_{N2}$	调节加热量，控制相对湿度在以下范围： $\varphi_{N1} < \varphi_N \leqslant \varphi_{N2}$		全新风
Ⅴ	$t_W > t_{N2}$ $d_W > d_{N2}$		调节表面式空气冷却器产（制）冷量，控制室温： $t_N \leqslant t_{N2}$	调节加热量，控制相对湿度在以下范围： $\varphi_{N1} < \varphi_N \leqslant \varphi_{N2}$		最小新风比

注　t_W 为室外空气的温度，℃；d_W 为室外空气的含湿量，g/kg 干空气；φ_W 为室外空气的相对湿度，%。

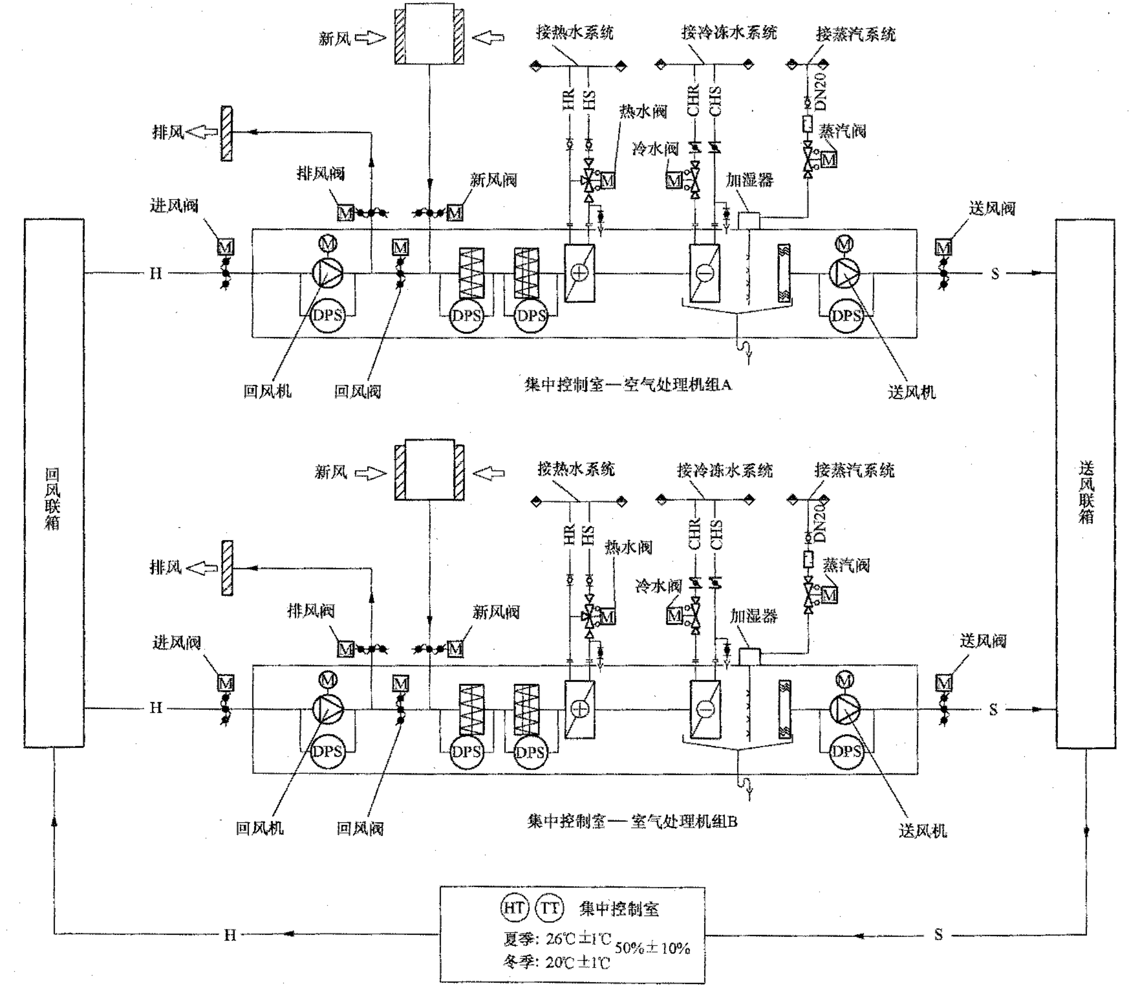


图 3-30　集中控制室空气调节系统流程图

表 3-46　　室内温度、相对湿度控制参数

房间名称	工况	温度及精度（℃）	高低限值（℃）	相对湿度及精度（%）	高低限值（%）
集中控制室	夏季	26±1	≤28	50±10	≤70
	过渡季	20～26	≥18 ≤28	60～40	≥30 ≤70
	冬季	20±1	≥18	50±10	≥30

注　1．温度和相对湿度的设定值应能手动可调。
2．控制室室内温度、相对湿度检测点各设 4 个点，并取其平均值。

（2）空气处理机组的启动和停机及切换控制。

1）系统启动和停机程序。系统的启动和停机可在操作员站手动启动。

启动顺序：开启空气处理机组的进/出口风阀、混风阀，新风阀和排风阀全关；延迟开启送风机、回风机；待风机运转稳定后，延迟开启机组混风阀至最大开度、新风阀和排风阀至最小开度；稳定后，系统投入自动运行状态，此时冷水或热水阀、加湿器等根据室内温度、相对湿度进行自动调节。

停机顺序：关闭相应的电动调节阀、高压细雾加湿器等；停止相应空气处理机组中回风机、送风机，延迟（延迟时间在一定的时间范围内手动可调）关闭空气处理机组进出口的切换阀、混风阀、新风阀、排风阀。

2）机组的切换控制。通风空气调节系统中的两台空气处理机组互为备用，空气处理机组的运行切换根据机组运行小时数自动控制或人为手动控制。机组故障停机后切换应为手动。

（3）系统运行工况控制。系统运行工况按等温等湿线分区法，详见本节四（二）5 多工况节能控制。各运行分区控制见表 3-45。系统运行工况分区和室外空气参数边界条件如下：

1）运行分区Ⅰ：室外空气参数边界条件为 $t_W \leqslant t_{W1}$。

2）运行分区Ⅱ：室外空气参数边界条件为 $t_{W1} < t_W \leqslant t_{N1}$，$d_W \leqslant d_{N1}$。

3）运行分区Ⅲ：室外空气参数边界条件为 $t_{N1} < t_W \leqslant t_{N2}$，$\varphi_N \leqslant \varphi_{N2}$。

4）运行分区Ⅳ：室外空气参数边界条件为 $d_{N1} < d_W \leqslant d_{N2}$，$\varphi_W > \varphi_{N2}$。

5）运行分区Ⅴ：室外空气参数边界条件为 $t_W > t_{N2}$，$d_W > d_{N2}$。

（4）系统温度、相对湿度监测及控制。被控房间，系统送风管、回风管及新风管上均应设有温度及相对湿度变送器，监测系统的送风温度及相对湿度状态、回风温度及相对湿度状态及新风温度及相对湿度状态。

1）当被控房间温度及相对湿度实测值超越限值时报警，各限值见表 3-46。

2）当送风温度实测值超越限值时报警，应根据夏季工况室内温度及相对湿度条件计算出室内空气环境的露点温度，并控制送风温度低限值高于露点温度 1℃（设定值可手动调整）。

（5）设备的保护及报警。

1）风机低流量保护及报警，空气处理机组中的送风机、回风机应设置空气流量开关或压差开关保护装置。当送风机或回风机处于低流量状态或低压差时，应及时报警。

2）初效、中效空气过滤器压差保护及报警，空气处理机组中的初效、中效空气过滤器应设置压差开关保护装置。当初效空气过滤器和中效空气过滤器的阻力大于压差设定值时（设定值手动可调），应及时报警。空气过滤器压差设定值如下：

a．空气处理机组初效空气过滤器压差设定值为 80Pa。

b．空气处理机组中效空气过滤器压差设定值为 160Pa。

（6）消防控制系统联锁保护控制。当自动监控系统接受到消防控制系统发出的火灾报警信号后，自动监控系统及时将通风空气调节系统停止运行，并反馈停机信号至消防控制系统。

第六节　设备配置及机房布置

一、空气处理设备的配置

（1）对于主厂房集中空气调节系统的空气处理设备配置应满足 DL/T 5035—2016 的规定，并按下列原则配置：

1）300MW 级及以上机组的集中控制室和电子设备室空气处理设备配置不应少于 2 台，其中 1 台备用。

2）继电器室宜设置集中空气调节系统，空气处

理设备配置不应少于 2 台。

（2）空气处理机组一般包括过滤、冷却、去湿、加热、加湿及风机等功能段。各空气处理功能段的选用应根据空气调节对象、室内外设计参数、运行季节与时间、节能运行措施和控制方式确定。

（3）当集中空气调节系统符合下列情况之一时，可设回风机：

1）不同季节新风量变化较大，其他排风措施不能适应风量变化要求。

2）回风系统阻力较大，设置回风机经济合理。

3）设置回风机时，新回风混合室的压力应为负压，并应满足新风入口至新回风混合室段风管的压降要求。

（4）空气处理设备各功能段的排列应满足所需的空气处理过程要求。主厂房全年运行的集中空气调节系统，空气处理设备一般可采用如图 3-31 所示组合排列。

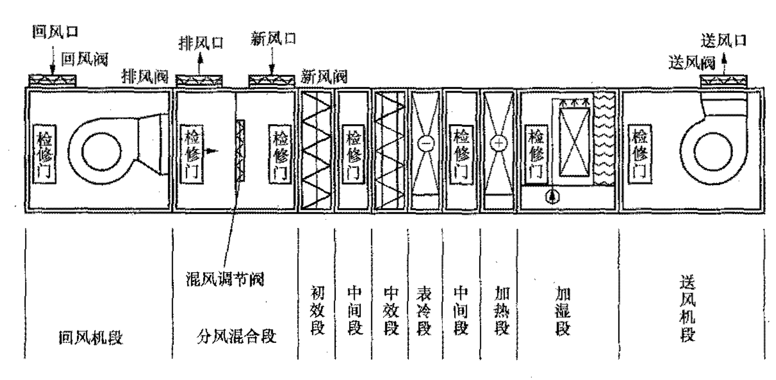


图 3-31　空气处理设备组合排列图（一）

对于分风混合段，当空气调节机房面积允许，建议采用如图 3-32 所示的方法设置空气处理设备，其目的是使回风机组出风口的正压值至混风调节阀时，压力为 0，并调整出风阀使回风机组出风口至混风调节阀的阻力损失与回风机组排风口至排风口的阻力损失相等；同时在混风调节阀后，由空气调节机组保持混风调节阀后至空气调节机组混风段的回风口为负压，并调整回风阀使混风调节阀后至空气调节机组混风段进风口的阻力与混风段新风口至室外的新风入口的阻力相同。

（5）空气处理机组性能保证参数（包括风量、全压、供冷量、供热量、功率、漏风率、机组的振动和噪声等）在 GB/T 14294—2008 所规定的试验工况下，至少应满足下列要求：

1）机组风量实测值不低于额定值的 95%，机外静压实测值不低于额定值的 90%，功率实测值不应超过额定值的 10%。

2）机组供冷量和供热量的实测值不低于额定值的 95%。

3）机组内静压值保持在正压段 700Pa、负压段 −400Pa 时，机组漏风率应不大于 2%。

4）机组振幅不应大于 15mm（垂直）。

5）机组噪声控制标准应根据空气调节房间的噪声限制标准确定。

（6）除直接膨胀式空气换热器外，空气换热器的冷（热）媒进出口管道上应设置温度测量装置、压力测量装置、流量计（如需要）、隔断阀和流量调节阀（如需要）。

（7）除直膨式空气冷却器和蒸汽型空气加热器外，空气冷却器和加热器宜采用下进上出的接管方式，并在接管的顶部宜设置放气阀，底部宜设置排水阀。

（8）一般在表面式空气冷却器（当空气处理设备的断面风速不小于 2.5m/s 时）和加湿器的下游均应设置挡水板。

（9）在空气冷却段、加湿段以及设于下游的空气加热段均应设置排水口，并设置具有足够水封高度的水封装置（见图 3-33）。由于这些空气处理段均处于负压段，在机组运行时必须有一定高度的水封，克服相应的负压，使空气调节箱负压段内的积水能连续排放。

水封高度计算式为

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= p/9.8 + 25\text{mm} \\ H_2 &= A/2 + 25\text{mm} \end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}66)$$

式中　p ——空气调节箱排水点负压值，Pa；

9.8 ——换算系数，$1\text{mmH}_2\text{O}=9.8\text{Pa}$。

二、空气处理机组及其机房布置

（1）空气处理机组宜室内布置。当空气处理机组室外布置时，应采取有效的措施防止雨、雪等在顶板上积聚，出现变形、缝隙，而引起漏雨、漏风，并应考虑抗风、防雷击和防冻隔热等措施。

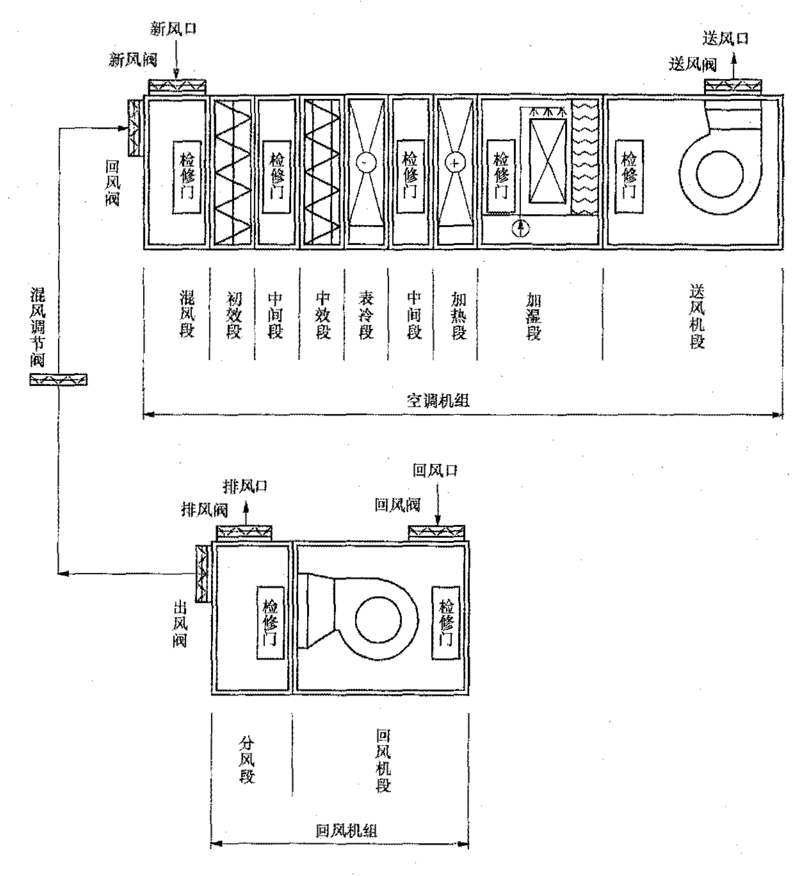


图 3-32　空气处理设备组合排列图（二）

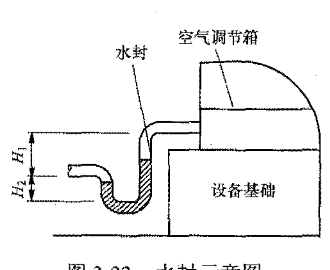


图 3-33　水封示意图

（2）空气调节机房布置应符合下列要求：

1）空气调节机房应尽可能靠近所服务的空气调节区。

2）空气调节机房不宜与对振动和噪声要求标准较高的房间相邻，当必须相邻时，其围护结构（包括墙面和顶板）应做吸声和隔声处理，吸声结构的降噪系数必须大于 0.7。

3）当空气处理机组布置在楼板上时，设备与基础之间宜采取隔振措施；在集中控制室、会议室等上方不宜布置空气处理设备，以免振动及噪声传至室内。

4）通风空气调节机房内噪声不宜大于 80dB（A），机房开向公共区域的门，应采用隔声门，隔声量宜大于 35dB。

5）空气处理机组的送风口、回风口、新风口及排风口等与风管系统连接处应设置柔性接头，防止设备振动产生的噪声经风管系统向空气调节房间传播。

6）新风口应设在室外空气较洁净的地方，并避免与系统排风短路，且应远离废气口和其他火灾危险区的烟气排气口。

7）室内地面应进行防水处理，并设有 0.5%的排水坡度，并设地漏或排水明沟。

8）机房净空高度应满足设备、风管、冷热媒管道、电缆桥架及其他管道（如上水管道和消防管道）的布置和安装要求。

9）室内宜设有清洗过滤器的水槽。

（3）空气调节机房内设备布置应符合下列要求：

1）在满足操作和检修维护的条件下，应节省机房面积。

2）空气处理机组与围护结构的净距离不宜小于 1m。

3）空气处理机组与配电盘之间距离和主要通道的宽度，不应小于 1.5m。

4）空气处理机组与其他设备之间的距离不应小于1.2m。

（4）空气处理机组冷凝水管道布置应注意以下各项：

1）冷凝水管管径应按冷凝水的流量和管道坡度确定。

2）空气调节机组冷凝水盘的泄水支管沿水流方向坡度不宜小于0.01，冷凝水水平干管不宜过长，其坡度不宜小于0.003，且不允许有积水部位。

3）冷凝水水平干管始端应设置堵头，必要时可拆下清洗管道。

4）冷凝水管道宜采用排水塑料管或热镀锌钢管，管道应采取防凝露措施。

5）冷凝水管不得与室内密闭雨水系统直接连接。

第七节　风　管　设　计

一、空气调节风管分类与规格

1. 风管的分类

（1）按制作风管的材料分类：金属风管和非金属风管。金属风管材料一般有普通钢板、镀锌钢板、彩钢板、不锈钢板和铝合金板等。非金属风管材料可采用机制玻镁复合板。根据DL/T 5035—2016，电厂空气调节系统风管应采用非燃材料，一般采用镀锌钢板。

（2）按风管系统的运行压力分类：低压系统、中压系统和高压系统，见表3-47。

表3-47　风管系统密封要求

系统分类	系统工作压力 p（Pa）	密封要求
低压系统	$p \leqslant 500$	接缝和接管连接处严密
中压系统	$500 < p \leqslant 1500$	接缝和接管连接处增加密封措施
高压系统	$p > 1500$	所有拼接缝和接管连接处，均应采取密封措施

（3）空气调节系统的柔性接头材料，宜采用不燃材料制作，并应符合GB 50016—2014的规定。

（4）根据GB 50189—2015的规定，空气调节风管系统不应利用土建风道作为送风道和经过冷、热处理后的新风风道。当受条件限制利用土建风道时，应采取可靠的防漏风和绝热措施。

2. 风管的规格

空气调节系统的风管按其形状可分为圆形风管和矩形风管。系统主风管宜采用矩形风管，其长边与短边之比不宜大于4。常用的空气调节风管规格见表3-48和表3-49。

3. 风管材料厚度

（1）钢板风管。

1）常用的钢板风管材料厚度见表3-50。

表3-48　常用的圆形风管规格　（mm）

风管直径 D			
基本系列	辅助系列	基本系列	辅助系列
100	80或90	360	340
120	110	400	380
140	130	450	420
160	150	500	480
180	170	560	530
200	190	630	600
220	210	700	670
250	240	800	750
280	260	900	850
320	300	1000	950

注　本表摘自GB 50243—2002《通风与空气调节工程施工质量验收规范》。

表3-49　常用的矩形风管规格　（mm）

风管长边尺寸 b			
120	320	800	2000
160	400	1000	2500
200	500	1250	3000
250	630	1600	3500

注　本表摘自GB 50243—2002。

表3-50　钢板风管材料厚度　（mm）

风管直径 D 或长边尺寸 b	钢板风管材料厚度		
	圆形风管	矩形风管	
		中、低压系统	高压系统
$D(b) \leqslant 320$	0.5	0.5	0.75
$320 < D(b) \leqslant 450$	0.6	0.6	0.75
$450 < D(b) \leqslant 630$	0.75	0.6	0.75
$630 < D(b) \leqslant 1000$	0.75	0.75	1.0
$1000 < D(b) \leqslant 1250$	1.0	1.0	1.0

续表

风管直径D或长边尺寸b	钢板风管材料厚度		
	圆形风管	矩形风管	
		中、低压系统	高压系统
1250<D（b）≤2000	1.2	1.0	1.2
2000<D（b）≤4000	按设计	1.2	按设计

注 1. 螺旋风管的钢板厚度可适当减小10%～15%。
2. 排烟系统风管钢板厚度可按高压风管厚度取值。
3. 本表摘自GB 50243—2002。

2）常用的不锈钢板风管材料厚度见表3-51。

表3-51 高、中、低压风管系统不锈钢板风管材料厚度 （mm）

风管直径D或长边尺寸b	不锈钢板风管材料厚度
D（b）≤500	0.5
500<D（b）≤1120	0.75
1120<D（b）≤2000	1.0
2000<D（b）≤4000	1.2

注 本表摘自GB 50243—2002。

（2）机制玻镁复合风管。机制玻镁复合风管材料厚度见表3-52，或按制造厂产品技术要求选型。

表3-52 中、低压风管机制玻镁复合风管材料总厚度 （mm）

材料类型	厚度
保温型	22+1.0
节能型	31+1.0
低温节能型	43+1.0
排烟型	18+1.0
防火型	35+1.0
耐火型	45+1.0

4. 柔性风管材料

早期通风空气调节系统采用的柔性风管材料一般为帆布，作为运转设备和风管系统的连接，以阻止运转设备的振动传递到风管系统。但随着防火要求的提高，普通的帆布柔性接头就不能满足非燃要求。目前，常用的防火型柔性接头材料是玻璃纤维渗胶布，它是由玻璃纤维布为基材，涂氯汀橡胶制成的防火型柔性材料，其机械性能、抗老化性、氧指数和耐温性能均达到要求。

二、风管压力损失计算

1. 沿程压力损失计算

（1）管段沿程压力损失查表计算。风管沿程压力损失，实际上就是空气沿管段（计算长度）内流动时与管壁发生摩擦而形成的空气流动阻力，它表现的形式为压力下降。每一管段沿程压力损失计算式为

$$\Delta p_m=\varDelta_{pm}l \tag{3-67}$$

式中 Δp_m——每一管段沿程压力损失，Pa；

$\varDelta_{pm}$——单位长度压力损失（简称比摩阻），Pa/m，可根据管段尺寸、风速查表得知，圆形风管可由表E-1查得、矩形风管可由表E-2查得，也可按式（3-68）计算获得；

l——管段长度，m。

（2）查表获得的比摩阻修正。

1）绝对粗糙度修正。由于表E-1和表E-2中的比摩阻数据都是在空气标准状态条件下制取的，因此，对于内壁当量绝对粗糙度$Ra\neq0.15\times10^{-3}$m的风管，其比摩阻可先按表E-1和表E-2查得，再乘以表3-53中修正系数，对比摩阻进行修正。

表3-53 绝对粗糙度的修正系数

<table>
<tr><th rowspan="2">风速（m/s）</th><th colspan="5">绝对粗糙度（mm）</th></tr>
<tr><th>0.03</th><th>0.09</th><th>0.15</th><th>0.9</th><th>3.0</th></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="2">0.95</td><td>1.0</td><td rowspan="7">1.0</td><td>1.2</td><td>1.50</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="5">0.95</td><td>1.25</td><td>1.60</td></tr>
<tr><td>4</td><td rowspan="2">0.90</td><td>1.30</td><td>1.70</td></tr>
<tr><td>5～7</td><td>1.35</td><td>1.80</td></tr>
<tr><td>8～12</td><td rowspan="2">0.85</td><td>1.40</td><td>1.85</td></tr>
<tr><td>13</td><td rowspan="2">1.45</td><td>1.90</td></tr>
<tr><td>14～16</td><td>0.80</td><td>0.90</td><td>1.95</td></tr>
</table>

注 本表摘自参考文献［6］。

2）大气压修正。由于常用的风管阻力图表是按标准状态下的空气编制的，因此当计算状态下的大气压与标准状态下的大气压相差较大时，应对以查表方式查得的比摩阻进行大气压修正。修正方法：根据计算状态下的体积流量、管道尺寸及管内流速等参数，查表获得标准状态下的单位长度沿程摩擦阻力，然后乘以$\rho/1.2$，其中ρ应按式（3-29）计算。

（3）单位长度沿程摩擦阻力计算。

1）单位长度沿程摩擦阻力计算式为

$$\Delta_{pm}=(\lambda/D_e)v^2\rho/2 \tag{3-68}$$

式中　λ——摩擦阻力系数；

D_e——风管当量直径，m；

v——空气流速，m/s；

ρ——计算状态下的空气密度，kg/m^3。

对于圆形风管，则

$$D_e=D \tag{3-69}$$

对于非圆形风管，则

$$D_e=4A/P \tag{3-70}$$

当非圆形风管为矩形风管时，则

$$D_e=2ab/(a+b) \tag{3-71}$$

式中　A——风管的净面积，m^2；

P——风管断面的内边周长，m；

a——矩形风管的一边，m；

b——矩形风管的另一边，m。

2）摩擦阻力系数计算式为

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left(\frac{Ra}{3.71D_e}+\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \tag{3-72}$$

$$Re=\frac{vD_e}{\nu} \tag{3-73}$$

式中　Ra——钢板风管的绝对粗糙度，$Ra=0.15\times10^{-3}$m，其他材料的绝对粗糙度按表 3-54 取值；

Re——雷诺数；

ν——运动黏度，在标准状态下，空气 $\nu=15.06\times10^{-6}m^2/s$。

表 3-54　风管内壁的绝对粗糙度

绝对粗糙度 Ra（mm）	粗糙等级	典型风管材料及构造
0.03	光滑	洁净的无涂层碳钢板，PVC 塑料，铝
0.09	中等光滑	镀锌钢板纵向咬口，管段长 1200mm
0.15	一般	镀锌钢板纵向咬口，管段长 760mm
0.90	中等粗糙	镀锌钢板纵向咬口，玻璃钢风管
3.00	粗糙	内表面喷涂的玻璃钢风管，金属软管，混凝土

注　本表摘自参考文献［6］。

2. 局部压力损失计算

风管局部压力损失，主要就是空气通过异形管段，气流产生涡流时，形成的空气流动阻力，它表现的形式为压力下降。风管局部压力损失计算式为

$$\Delta p_j=\zeta v^2\rho/2 \tag{3-74}$$

式中　Δp_j——风管局部压力损失，Pa；

ζ——局部阻力系数。

一般在计算局部阻力时，不同形状管段、风阀、风口等局部阻力系数均通过查表获得。局部阻力系数可由附录 F1 查得。

3. 风管系统压力损失计算

风管系统总的压力损失应为所有管段沿程压力损失与局部压力损失之和，表达式为

$$\sum\Delta p=\sum\Delta p_m+\sum\Delta p_j \tag{3-75}$$

式中　$\sum\Delta p$——风管系统总的压力损失，Pa；

$\sum\Delta p_m$——在计算状态下所有管段沿程压力损失，Pa；

$\sum\Delta p_j$——在计算状态下所有管段局部压力损失，Pa。

4. 通风机风压选择

（1）在选择通风机风压时，应以最不利管路的压力损失为依据，并在设备、管道总的压力损失上附加10%～15%。

（2）单风机空气处理机组：送风机全压应克服送、回风管道压力损失及空气处理机组内部各功能段的压力损失之和。

（3）双风机空气处理机组：送风机全压应克服送风管段风管压力损失，新风口至空气处理机组新风引入段的管段压力损失及空气处理机组沿气流方向各功能段的压力损失之和；回风机全压应克服回风管段风管压力损失，排风口至空气处理机组排风分风段的管段压力损失及空气处理机组回风段的压力损失之和。

5. 通风机选型

在选择通风机时应注意，由于通风机选用样本中的技术参数或性能曲线等都是按标准状态来编制的；从流体力学原理可知，当输送的空气密度改变时，系统中的通风机特性和管道特性曲线也随之改变；对于离心风机和轴流风机，容积风量保持不变，而风压和电动机轴功率与空气密度成正比变化。因此，当计算状态与风机样本标定状态相差较大时，风机选型应按式（3-76）和式（3-77），将风机样本上标定状态下的风量数值换算成风机选型计算状态下的数值，并据此选择通风机。风机配套电动机应按式（3-78）计算出轴功率来选型。

空气调节系统通风机计算状态下的体积流量与标定状态下的体积流量关系表达式为

$$L_v=L_{v0} \tag{3-76}$$

式中　L_v——计算状态下的体积流量，m^3/h；

L_{v0}——标准状态下的体积流量，m^3/h。

空气调节系统计算状态下的压力损失与标准状态下的压力损失关系表达式为

$$p=p_0p_c/p_{c0}[(273+t_0)/(273+t)] \quad (3\text{-}77)$$

式中 p ——计算状态下的压力损失，Pa；

p_0——标准状态下的压力损失，Pa；

p_c——计算状态下的大气压，Pa；

p_{c0}——标准状态下的大气压，Pa；

t——计算状态下的温度，℃；

t_0——标准状态下的温度，℃。

实际所需的电动机轴功率计算式为

$$p_z=L_vp/(3600\times1000\eta_1\eta_2) \quad (3\text{-}78)$$

式中 p_z ——实际所需的电动机轴功率，kW；

p ——计算状态下的管道压力损失，即为$\sum\Delta p$，Pa；

η_1 ——通风机的效率；

η_2 ——通风机的传动效率。

第四章

电气建筑供暖通风与空气调节

第一节 网 络 控 制 室

一、工艺简介

1. 网络控制系统

网络控制系统的作用是对升压站及输电线路的电气元件、设备和系统进行测量、监视、控制和保护。根据电厂控制方案的不同，网络控制系统主要有以下三种布置方式：

（1）主控楼方式。主控制室对全厂的发电机、厂用电、输变电设备及线路进行集中控制，网络控制设备布置在主控制室和继电器室内。全厂设一座主控制楼，布置在升压站附近，主要布置有主控制室、继电器室、计算机室、蓄电池室、通信室、空调机房以及电缆夹层等，其中继电器室通常与主控制室合并设置，并布置在盘后区域。

（2）网控楼方式。电厂采用单元控制方式，电气控制盘柜布置在单元控制室内，负责对发电机、厂用电等系统的监控。升压站附近设置网络控制楼，负责对升压站及输电线路的监视、控制及保护。除了网络控制室与主控制室的区别外，网络控制楼与主控制楼的其他房间设置基本类似。

（3）网络保护小室方式。电厂采用集中控制方式，网络控制盘柜布置在集中控制室，网络的继电保护装置及其他就地仪表、设备布置在网络保护小室内。网络保护小室作为一个独立的建筑布置在升压站附近，与网络控制的联络通过通信的方式来实现。网络保护小室主要包含继电器室、蓄电池室和MCC室等。

随着光纤等网络传输技术的发展，前两种网络控制方式已较少采用，网络保护小室方式是网络控制的最主要方式。

2. 主控制室、网络控制室、网络保护小室的环境要求

控制室（主控制室、网络控制室）内布置有各类控制、监视盘柜、电子显示屏幕等，网络保护小室则主要布置了网络继电保护仪表、盘柜。这些设备中集成了大量的电子元件、集成电路、微机设备等，运行和维护时对环境的温度及相对湿度、洁净度等方面提出了较高的要求，否则将直接影响设备的正常工作和使用寿命。此外，电子设备在运行时散发出大量的热量，主控制室和网络控制室同时还有运行人员长期值守，因此需设置空气调节系统。

二、主控制室、网络控制室、网络保护小室通风与空气调节

（一）通风

布置在升压站高压线路下方的网络保护小室因屏蔽要求，其墙体及屋面多采用复合压型钢板，外墙上除设置有必需的外门之外，一般不设可开启的外窗，具有较好的密封性。

无可开启外窗的网络保护小室具有发生火灾事故的可能。当室内发生火灾，在火扑灭后，为确保检修人员能及时进入室内进行抢修，宜设计机械排风装置，换气次数不少于每小时6次。

设备及管道穿越屏蔽墙体时，应与土建密切配合做好屏蔽处理。

（二）空气调节

1. 设计原则

（1）主控制室、网络控制室、网络保护小室应设计空气调节系统，空气调节房间的室内空气设计参数见表4-1。

表4-1 空气调节房间的室内空气设计参数

夏季				冬季		
温度（℃）	相对湿度（%）	工作区风速（m/s）	送风温差（℃）	温度（℃）	相对湿度（%）	工作区风速（m/s）
24～28	40～65	≤0.3	5～10	18～22	40～65	≤0.2

（2）网络控制系统采用主控楼或网控楼方案时，设有主控制室或网络控制室。主控制室或网络控制室

通常与网络保护小室合并布置，宜设计全年性全空气空气调节系统，空气调节设备宜采用组合式空气处理机组或直接膨胀式空气调节机组，空气调节设备配置不应少于 2 台，其中 1 台备用。全空气空气调节系统的设计参见第三章。

（3）当主控制室或网络控制室与网络保护小室分开布置，各房间空气调节负荷不大时，可采用柜式空气处理机或者风冷分体式空调。设计气流组织时可考虑风道送风，也可将空调室内机直接布置在室内，空气调节设备配置不宜少于两台，可不考虑备用。

（4）网络控制系统采用网络保护小室方案时，升压站附近设有网络保护小室。网络保护小室空气调节宜设计单元式空调，采用风冷柜式、吊挂式或壁挂式分体式空调。

2. 负荷计算

主控制室、网络控制室、网络保护小室夏季空气调节冷负荷的计算方法详见第三章第二节。

当采用风冷分体式空调方案时，夏季空气调节冷负荷应包括空气调节房间计算冷负荷即围护结构传热、透过外窗进入的太阳辐射、电气盘柜散热、照明灯光散热、人体散热得热量形成的冷负荷，以及渗透空气形成的新风冷负荷。

房间内设备主要为继电器柜，设备散热量应由该设备制造厂商提供，当设备制造厂商不能提供确切的散热量时，可按每面 200～250W 进行估算。

网络保护小室设置分体空调无新风系统时，渗透空气量可根据房间体积按表 4-2 列出的换气次数进行估算。

表 4-2　　空气调节房间渗透空气量换气次数估算

房间容积（m³）	500以下	500～1000	1000～1500	1500～2000	2000～2500	2500～3000	3000以上
换气次数（次/h）	0.70	0.60	0.55	0.50	0.42	0.40	0.35

3. 空气调节布置

（1）当采用分体式空调方案时，应选用大风量小焓差型空气调节设备。空调室内机的布置应合理，避免室内温度场的失衡，同时空调送风不应正面吹向电气盘柜，以免盘柜表面凝露。对于进深较长，无法通过空调室内机的布置控制室内温度场的均衡时，宜通过风管送风形成合理的气流组织。

（2）分体空调室内外机安装高差一般不超过 5m，条件允许时应尽可能布置在同一标高；连接室内外机制冷剂管的长度不大于 5m。超过上述要求时，应对设备实际出力进行修正，但最大安装高差和制冷剂管最大长度应不超过设备制造厂的规定值。

（3）空调室外机宜布置在室外空气流畅易于散热的地方，固定在外墙上的空调室外机应与墙面留有足够间距，确保不影响室外机散热的进风和排风通道。小型壁挂式空调室外机与墙面的间距一般应不小于 150mm，大容量空调应根据制造厂的要求确定。

（4）分体空调连接室内外机的冷剂管以及冷凝水管布置时，应尽量减少对室内和外墙立面美观的影响，必要时可对沿墙面敷设的冷剂管加设槽盒或其他方式进行掩蔽处理。

（5）当分体空调室外机布置在屋面时，冷剂管穿屋面应设套管（见图 4-1）。待制冷剂管安装后，套管出口应采用胶泥或其他防水材料进行密封。

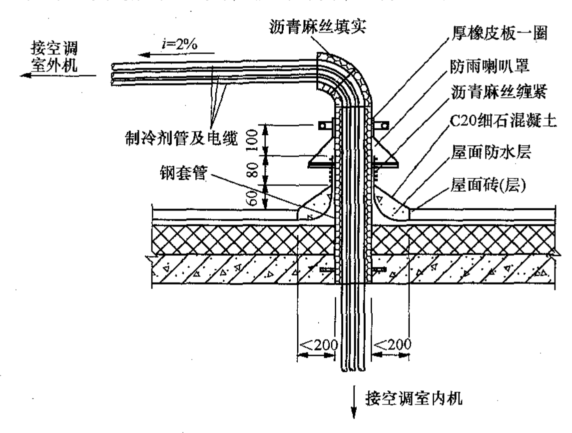


图 4-1　冷剂管穿屋面套管结构示意图

（6）空调冷凝水管应接至排水系统或引至地面。

（7）管道穿越屏蔽墙体时，应与土建密切配合做好屏蔽处理。

（8）各种有压水管（如冷冻水管道）不得进入电气设备间内。

第二节　蓄　电　池　室

一、蓄电池及其种类

（一）蓄电池简介

蓄电池是一种具有可逆的电化学能量转换功能的电能装置，是可进行充电、放电多次循环使用的低压直流电源。在充电状态下，蓄电池可将电能转换为化学能；在放电状态下，蓄电池可将化学能转变为电能。火力发电厂的蓄电池一般布置在网络保护小室或主控楼、网控楼以及主厂房或集控楼。在供电系统发生故障，用电中断的情况下，蓄电池发挥其独立电源的作用，向电气二次的控制操作与保护、直流油泵、事故照明网络、其他直流用电设备等装置提供工作电流。

（二）蓄电池的分类

火力发电厂常用的蓄电池通常分为铅酸性蓄电池和碱性蓄电池两大类。

（1）铅酸性蓄电池有防酸隔爆式和阀控密封式（俗称免维护式）蓄电池两种。该类蓄电池具有可靠性高、容量大、抗冲击能力强、价格低廉等特点，这两种蓄电池在电厂得到广泛应用。

（2）碱性蓄电池有铁镍、镉镍、氢镍三种。该类蓄电池具有寿命长、体积小、放充电维护相对简单、污染小、使用方便等特点，目前在通信和远离主厂房外的辅助设施的直流成套装置中采用。

（三）蓄电池的工作原理

（1）铅酸性蓄电池充放电时的电化学反应式为

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{\text{充电}}{\overset{\text{放电}}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

$$2H_2O \xrightarrow{\text{水解}} 2H_2 + O_2$$

（2）镉镍碱性蓄电池充放电时的电化学反应式为

$$Cd + 2NiOOH + 2H_2O \underset{\text{充电}}{\overset{\text{放电}}{\rightleftharpoons}} Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$$

（3）铁镍碱性蓄电池充放电时的电化学反应式为

$$Fe + 2NiOOH + 2H_2O \underset{\text{充电}}{\overset{\text{放电}}{\rightleftharpoons}} Fe(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$$

（4）氢镍碱性蓄电池充放电时的电化学反应式为

$$MH + NiOOH \underset{\text{充电}}{\overset{\text{放电}}{\rightleftharpoons}} M + Ni(OH)_2$$

（四）各种蓄电池的工作特点

1. 防酸式铅酸蓄电池

防酸式铅酸蓄电池俗称防酸隔爆式蓄电池。在充放电时会析出少量氢气，不产生酸气，故要求蓄电池室房间上部设置排风口排除氢气；该蓄电池在平时维护时需经常补加酸和水，因此通常设置有专用的调酸室，由于酸性气体的密度比空气大，所以通常在调酸室房间上部和下部设置排风口。

2. 阀控密封式蓄电池

阀控密封式蓄电池俗称免维护蓄电池。外壳采用密封结构，正常工作时保持气密和液密状态，基本上没有氢气和酸气逸出，也没有定期补水和加酸的要求，不设调酸室。但是，为了防止万一有氢气泄漏，室内有必要保持良好的通风，同时通风设备电动机应满足防爆要求。其温度对阀控密封式蓄电池寿命及容量有较大的影响，该类型蓄电池的标准浮充电运行温度为25℃，在此条件下的理论寿命为15～20年。如果运行温度长期超过35℃，则蓄电池寿命大约降低一半。

阀控密封式蓄电池标定容量是指运行温度为25℃时的容量。当环境温度升高1℃时，电池容量会对应增加1%；反之，当环境温度降低1℃时，电池容量会相应减少0.8%。

阀控密封式蓄电池的浮充寿命与温度和浮充电压的关系，见表4-3。

表4-3　蓄电池的浮充寿命　（年）

浮充电压（V）	温度（℃）							
	15	20	25	30	35	40	45	50
2.23	22.28	16.5	11.7	8.3	5.8	4.2	3.0	2.1
2.25	20.25	15.0	10.6	7.5	5.3	3.8	2.7	1.9
2.28	18.41	13.6	9.6	6.8	4.8	3.5	2.5	1.7
2.30	16.74	12.4	8.8	6.2	4.4	3.1	2.2	1.6

注　表中数据来源于艾诺斯－华达《阀控密封式蓄电池技术手册》。

综合考虑阀控密封式蓄电池的放电容量、寿命与室内温度的关系后，其工作环境宜控制为15～30℃。

由于阀控密封式蓄电池具有使用方便、寿命长、性能好等优点，目前在电厂中使用非常广泛。

3. 镉镍碱性蓄电池

镉镍碱性蓄电池多用于直流电源柜，蓄电池不需设专用房间，要求的环境温度为-5～40℃，月平均相对湿度不大于90%，周围无严重尘土，无爆炸危险介质，无腐蚀性破坏绝缘的有害气体，无导电微粒和霉菌。

电厂中，镉镍碱性蓄电池在直流电源成套装置中得到了非常广泛的应用，不再单独设碱性蓄电池室。

（五）火力发电厂免维护蓄电池常规配置及容量

150、300、600MW级及以上火力发电厂免维护蓄电池常规配置及容量，见表4-4。

表4-4　火力发电厂免维护蓄电池常规配置及容量

发电机组容量等级	方案一	方案二	备注
1000MW级	每台机组：2组110V（每组容量800A·h）、1组220V（容量2000～2500A·h）		110V每组由52只蓄电池组成，220V每组由104只蓄电池组成，48V每组由24只蓄电池组成
600MW级	每台机组：2组110V（每组容量600A·h）、1组220V（容量1800～2000A·h）		
300MW级	每台机组：2组110V（每组容量400A·h）、1组220V（容量1000～1400A·h）	每台机组：2组220V（每组容量1000～1200A·h）	

续表

发电机组容量等级	方案一	方案二	备注
150MW 级	每台机组：2 组 220V（每组容量 800A·h）		
火力发电厂通信蓄电池常规配置：2 组 48V（每组容量 300～400A·h）			

注　蓄电池设备散热量一般按照厂家提供的散热量资料进行计算，若缺少厂家提供的散热量资料，可按照冷指标 150～200W/m² 估算（蓄电池室的房间面积）。

二、蓄电池室供暖通风与空气调节

（一）室内空气设计参数

蓄电池室内空气设计参数见表 4-5。

表 4-5　　蓄电池室内空气设计参数

建筑物或房间名称	夏季		冬季		换气次数（次/h）
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
防酸式铅酸蓄电池室（防酸隔爆式蓄电池）	—	—	18	—	≥6
阀控密封式蓄电池室（免维护）	≤30	—	20	—	≥3（正常） ≥6（事故）
调酸室	—	—	10	—	≥5

（二）供暖

1. 供暖原则

集中供暖热媒优先选用热水热媒，宜采用 95/70、110/70℃的热水。严禁使用明火进行供暖。

散热器与蓄电池之间的距离不应小于 0.75m。散热器应采用耐腐蚀、便于清扫的散热器，室内不得有丝扣接头和阀门。

供暖通风沟道不应敷设在蓄电池室的地下。供暖、通风管道不宜穿越蓄电池室的楼板。

2. 通风热补偿

冬季围护结构耗热量宜由散热器供暖系统承担。冬季连续运行的排风热损失应由热风装置补偿。补热风系统的通风耗热量按如下公式计算，即

$$Q=0.28cL_s\rho_s(t_s-t_w) \tag{4-1}$$

式中　Q——通风耗热量，W；

c——空气比热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

L_s——送风量，m³/h；

ρ_s——空气密度，kg/m³；

t_s——送风温度，℃；

t_w——通风室外计算温度，℃。

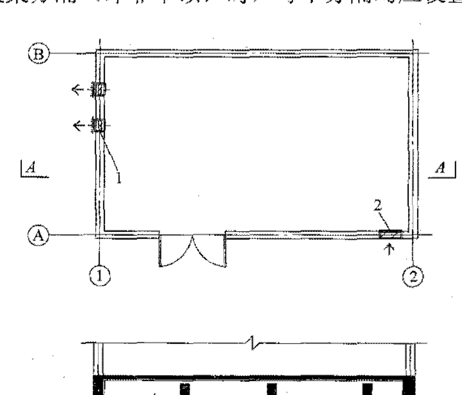
（三）通风

1. 防酸式铅酸蓄电池室及调酸室通风

蓄电池室通风换气量按室内空气最大含氢量的体积浓度不超过 1%计算来通风，且换气次数不少于每小时 6 次。室内通风应设计为连续运行，为保证通风系统的可靠性，蓄电池室的排风机不应少于 2 台。蓄电池室的送风机和排风机不应布置在同一通风机房内；当送风设备为整体箱式时，可与排风设备布置在同一个房间。蓄电池室通风系统的进风宜过滤，室内应保持负压。当采用机械进风、机械排风方式时，排风量至少应比送风量大 10%。排风应排至室外。蓄电池室冬季送风温度不宜高于 35℃，并应避免热风直接吹向蓄电池。

调酸室的通风换气次数不宜少于每小时 5 次。调酸室的吸风口应分别设在上部和下部。上部吸风口上缘距顶棚平面或屋顶的距离不应大于 0.1m，下部吸风口与地面距离不应大于 0.3m。下部排风量为总排风量的 2/3，上部排风量为总排风量的 1/3。

蓄电池室排风系统的吸风口应设在上部，上部吸风口上缘距顶棚平面或屋顶的距离不应大于 0.1m。蓄电池室不允许吊顶，为保证通风气流通畅，应和土建专业配合，尽量保证顶棚不被结构梁分隔成多个部分（即平顶），蓄电池室通风布置如图 4-2 所示；在条件受到制约，土建结构梁不能上翻时，当蓄电池室的顶棚被梁分隔（即非平顶）时，每个分隔均应设置吸风



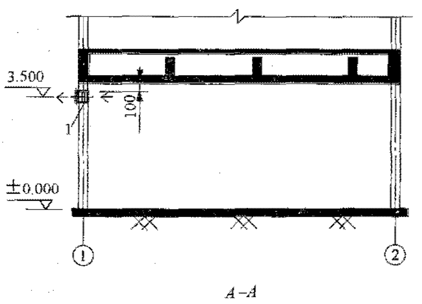


图 4-2　蓄电池室通风布置图（平顶）

口，如图4-3所示。

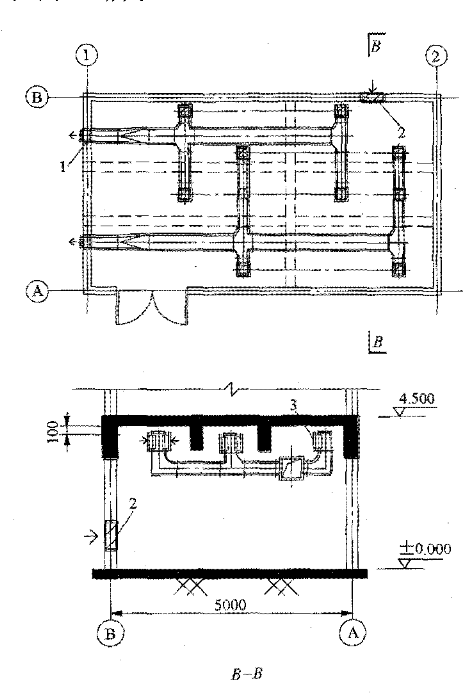


图4-3　蓄电池室通风布置图（非平顶）

1—防爆防腐轴流风机；2—进风百叶窗；3—吸风口

蓄电池室通风机及电动机应采用防爆型，防爆等级不应低于氢气爆炸混合物的类别、级别、组别（ⅡCT1），通风机及电动机应直接连接。室内不应装设开关和插座。通风系统的设备、风管及其附件，应采取防腐措施。

为避免通风空气调节设备在运行过程中产生的静电以及通风空气调节管道聚集静电而引发火花导致不良后果，安装在蓄电池室内的空调、风机等设备及风管应与房间内的接地网可靠连通。

2. 阀控密封式铅酸蓄电池室通风

（1）当室内设置氢气浓度检测仪时，通风系统应符合下列规定：

1）事故通风系统排风量应按换气次数不少于每小时6次计算。事故风机宜按2×50%配置。

2）事故排风机应与氢气浓度检测仪联锁，空气中氢气体积浓度达到1%时，事故排风机应能自动投入运行。

3）当室内需要采取降温措施时，降温设备可采用防爆型空气调节装置，并应与氢气浓度检测仪联锁，空气中氢气体积浓度达到1%时应能自动停止运行。

（2）当室内未设置氢气浓度检测仪时，通风系统应符合下列规定：

1）平时通风系统排风量应按换气次数不少于每小时3次计算，平时通风用排风机宜按2×100%配置。

2）事故通风系统排风量应按换气次数不少于每小时6次计算。事故排风机可由两台平时通风用排风机共同保证。

（3）蓄电池室排风系统的吸风口应设在上部，吸风口上缘距顶棚平面或屋顶的距离不应大于0.1m。通风设计及设备防爆要求与防酸隔爆式蓄电池室的相关内容的设计相同，可参考防酸式铅酸蓄电池室设计。

（4）蓄电池室通风系统的进风宜过滤，室内应保持负压。

（5）排风系统不应与其他通风系统合并设置。排风应排至室外。

（6）火灾发生时应自动切断通风机电源。

（四）空气调节

1. 阀控密封式蓄电池室空气调节

夏季室内温度宜不超过30℃，冬季室内温度不宜低于20℃。当夏季采用正常通风系统仍不能满足设备对室内温度的要求，可设置空气调节装置。

当室内未设置氢气浓度检测仪时，通风系统须连续运行，宜设置直流式空气调节系统。当室内设有带报警功能的氢气浓度检测仪，通风系统可间歇运行，空气调节可采用非直流系统，空气调节装置可布置在室内。

空气调节设备的防爆等级应为ⅡCT1（即为Ⅱ类，C级，T1组）。

2. 防酸式铅酸蓄电池室空气调节

防酸式铅酸蓄电池室一般不设空气调节系统，通风系统即可满足夏季室内设计温度要求。

第三节　通　信　机　房

一、工艺简介

电厂的通信分为电力系统通信及电厂厂内通信两大类。常用的电力通信方式有光纤通信、载波通信等。

电力系统通信是为了保证电力系统能安全经济地调配供电、发电，合理地分配电能，及时处理和防止系统事故而建立的专用通信网。一般以网省公司调度中心为通信中心、主要发电厂为通信枢纽。

电厂厂内通信包括生产管理通信、生产调度通信系统（包括生产调度系统、扩音/呼叫系统）和无线对讲通信三个部分。三个部分之间互为备用、互相补充，形成一个安全可靠的全厂行政管理、生产调度、检修维护的通信网络。

电厂通信系统通常设有通信机房、蓄电池室，运煤系统的厂内通信设备布置在运煤控制室内，其他厂内通信系统及电力系统通信宜合并布置在同一通信机房内。主要设备有交换机柜、交换机配线柜、光纤传

输设备、配线及数据网络柜等。当蓄电池容量（免维护性和碱性）不大于 300A·h 时，一般不单独设置蓄电池室，蓄电池直接布置在高频开关组合电源柜内，与其他通信设备布置在通信机房内。

在小型电厂中（单台机组容量在 125MW 以下），通信机房集中布置在主控室内或网控室内。

大中型容量的发电厂中(单台机组容量在 125MW 以上)，厂内通信设备布置在行政办公楼内，电力系统通信设备布置在主控制室或网控室内。

通信机房内主要布置有交换机柜、交换机配线柜、光纤传输设备、配线及数据网络柜等。这些设备中集成了大量的电子元件，尤其是交换机设备，对温度有较高的要求。此外，电子设备在运行时散发出大量的热量，为了保证设备的稳定性和可靠性，通信机房需设置空气调节系统。

二、通信机房空气调节

（一）设计原则

（1）通信机房与蓄电池组分别设置在不同的房间时，通信机房应设置空气调节装置，室内设计温度：冬季为 18℃，夏季为 26～28℃。

（2）当通信机房内布置有高频开关组合电源柜时，除应设置空气调节装置外，还需要设计通风系统。由于蓄电池容量在 300A·h 以下，布置在高频开关组合电源的直流配电单元柜中，散发出来的有毒有害气体极少，且直流配电单元也无防爆要求。为了防止设备故障后的氢气泄漏，室内有必要保持良好的通风。安全起见，通信机房应设有换气次数不少于 6 次/h 的非连续运行的机械排风系统，排风设备宜采用防爆风机。通风冷负荷不计入空气调节负荷。

（3）空气调节设备配置不宜少于 2 台，可不考虑备用。

（二）空气调节负荷计算

机房内热源密度较大，空气调节系统主要冷负荷是通信设备的散热量，空气调节设计应以夏季冷负荷为主。机房内设备散热量以制造厂提供的设备散热量为准。机房空气调节冷负荷应包括围护结构传热、透过外窗进入的太阳辐射、电气设备散热、照明灯光散热、人体散热、渗透空气等热量形成的冷负荷。冷负荷的计算方法参见第三章第二节。

机房设置分体空调无新风系统时，渗透空气量的确定参见本章第一节相关内容。

（三）空气调节系统

1. 分体空气调节系统

对行政办公楼或生产办公楼内布置的通信机房，考虑到通信机房与办公性房间相比较，其空气调节负荷特性及空气调节运行时段明显不一致，即使办公楼采用冷冻水的集中空气调节系统，通信机房的空调应选用风冷分体式空调。设计时可采用风道送回风方式，也可以将空调室内机直接布置在机房内。

分体空气调节设备容量按夏季空调房间计算冷负荷进行设备选型。

2. 集中空气调节系统

当采用冷冻水且通信机房布置在主控楼或网控楼时，可以采用空气处理机+风管全空气系统。空气调节冷（热）水等有压管道不应进入机房内。全空气时的空气调节系统设计参见第三章。

第四节　变　压　器　室

一、工艺简介

1. 变压器的分类

（1）按冷却方式分。变压器按冷却方式可分为干式变压器和油浸式变压器两种。干式变压器一般用作低压厂用变压器，通常由生产厂家做成柜式直接布置在厂用配电室内，并与低压厂用配电柜紧靠布置。但在炎热地区为了减少厂用配电室降温通风（或空气调节）的冷负荷，或其他原因也有将变压器单独布置的。油浸式变压器目前已较少用作低压厂用变压器，常用作主变压器、启动备用变压器及高压厂用变压器。

干式变压器的冷却方式有自然空气冷却和机械风冷两种，进风从变压器底部进入，经过绕组表面吸收绕组产生的热量，热空气从上部排出。该类变压器采用机械风冷方式时，其输出容量比采用自然冷却方式时可提高 50%，由此可见，变压器冷却的效果直接影响其出力。油浸式变压器采用自然风冷、强迫油循环风冷、自带冷却风机等冷却方式。基本均露天布置在汽机房 A 排柱外侧。

（2）按用途分。变压器按在发电厂中的用途不同，可分为主变压器、启动备用变压器、高压厂用变压器、低压厂用变压器。

1）主变压器。其是升压变压器，作用是将发电机电压升到较高的电压输出。

2）启动备用变压器。其作用是为发电厂提供启动电源及备用电源。

3）高压厂用变压器。其作用是将发电机出口电压降至 3～10kV 供厂内用电。

4）低压厂用变压器作用是把 3（6、10）kV 的电压降到 380V，通过低压配电柜配电至厂内工艺设备及照明等用电。变压器室的通风通常是指与低压配电柜分开布置的低压厂用变压器室通风。目前低压厂用变压器的容量基本在 2500kV·A 以下，均采用干式变压器。

电厂常用低压厂用干式变压器的容量为 500、630、800、1000、1250、1600、2000kV·A 和 2500kV·A。

2. 变压器对环境的要求

油浸式变压器和干式变压器对相对湿度无严格要求。但是要求室内空气洁净，特别是干式变压器对室内空气洁净要求更高，因此，变压器室的进排风口应有防止水、汽、灰尘及小动物进入室内的设施。目前，工程中使用的低压变压器多为干式变压器。

3. 变压器的运行方式

变压器一般有互备用和专备用两种运行方式。互备用就是指两台变压相互备用，正常运行时各承担负荷的 50%，任何一台坏了，另一台可以带出故障那台变压器的负荷。专备用等同于热备用，即变压器在空载运行没有带负荷，当其他变压器故障时投入（可以一台变压器给多台变压器备用）。

二、变压器室通风

（一）设计原则

（1）低压厂用变压器为油浸式变压器时，宜布置在零米的独立房间中，通风系统可按夏季排风温度不超过 45℃、进风和排风温差不超过 15℃设计。

（2）低压厂用变压器采用干式变压器时，通常与低压配电柜一起布置在厂用配电室内。此时，通风设计应与配电装置室一起考虑，参见本章第五节的内容。

（3）干式变压器独立布置在低压厂用配电装置室内时，通风系统可按夏季排风温度不超过 40℃、进风和排风温差不超过 15℃设计。宜采用自然进风、机械排风方式。当机械通风不能满足要求时，可采取降温措施。

（4）应保证变压器室内空气洁净，进风口应设在空气洁净区。布置在灰尘较多或风沙较大地区的变压器室，应采用正压通风方式，进风应过滤。

（5）当变压器室采用全淹没气体灭火系统时，通风管道穿越围护结构处应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀（若维护结构为防火墙，必须设置防火阀）。排风系统的吸风管段应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀，或者吸风口采用具有电动关闭功能的防火风口。百叶窗应具有电动快关的功能。当室内发生火灾时，在消防系统喷放灭火气体前，防火阀、防火风口、电动风阀及百叶窗应能自动关闭。具体的相关要求参见本章第五节。

（二）变压器散热量的计算

变压器的余热量主要是由电阻损耗（铜损）和铁磁损耗（铁损）两部分组成。其中铜损是随负荷变化大小而变化，也就是常说的负载功率损耗（短路损耗）；铁损是不随负荷变化而变化的，额定电压的铁损也称为空载损耗。

变压器的散热量计算式为

$$Q = P_{ul} + P_{lo} \qquad (4\text{-}2)$$

式中 Q——变压器散热量，W；

P_{ul}——变压器空载功率损耗，W；

P_{lo}——变压器负载损耗，W。

根据变压器的运行方式，变压器的余热量按照下列方式计算：

1. 互备用变压器散热量计算

互备用变压器正常运行时，每台变压器承担 50%的负荷，其中任何一台变压器故障时，另一台可以承担全部负荷。正常运行时，互备用的变压器散热量仅按照一台考虑。但是考虑到最不利因素的情况，其中一台变压器故障，另一台承担 100%负荷时，散热量应为运行变压器的散热量与故障变压器的空载损耗之和。

2. 专备用变压器散热量计算

专备用变压器就是热备用，即变压器在空载运行时没有带负荷。此时散热量的计算为专备用变压器的空载耗损与运行变压器的散热量之和。

3. 变压器的空载损耗与负载损耗的取值

变压器的空载损耗与负载损耗的取值应根据厂家提供的参数确定，如无法得到准确数据时，可根据表 4-6 及表 4-7 进行估算。

表 4-6　6kV 级和 10kV 级无励磁调压配电干式变压器的空载损耗和负载损耗

额定容量（kV·A）	电压组合及分接范围			联结组标号	空载损耗（W）	不同绝缘耐热等级下的负载损耗（W）		
	高压（kV）	高压分接范围（%）	低压（kV）			B（100℃）	F（120℃）	H（145℃）
30	6 6.3 10 10.5 11	±5 ±2×2.5	0.4	Dyn11 Yyn0	220	710	750	800
50					310	990	1060	1130
80					420	1370	1460	1560
100					450	1570	1670	1780
125					530	1840	1960	2100

续表

额定容量（kV·A）	电压组合及分接范围			联结组标号	空载损耗（W）	不同绝缘耐热等级下的负载损耗（W）		
	高压（kV）	高压分接范围（%）	低压（kV）			B（100℃）	F（120℃）	H（145℃）
160	6 6.3 10 10.5 11	±5 ±2×2.5	0.4	Dyn11 Yyn0	610	2120	2250	2410
200					700	2510	2680	2870
250					810	2750	2920	3120
315					990	3450	3670	3930
400					1100	3970	4220	4520
500					1310	4860	5170	5530
630					1510	5850	6220	6660
800					1710	6930	7360	7880
1000					1990	8100	8610	9210
1250					2350	9630	10260	10980
1600					2760	11700	12400	13270
2000					3400	14400	15300	16370
2500					4000	17100	18180	19460

注 1．常用干式变压器主要为6kV级和10kV级无励磁调压配电变压器，高压为6kV级或10kV级，低压为400V级。
2．常用干式变压器的绝缘等级为F级，性能参考温度为120℃，绕组温升限值100K，最高允许温度为155℃。
3．热备用干式变压器只计算空载损耗，不计算负载损耗。
4．本表摘自GB/T 10228—2008《干式电力变压器技术参数和要求》。

表4-7　6kV级和10kV级三相双绕组无励磁调压配电油浸式变压器的空载损耗和负载损耗

额定容量（kV·A）	电压组合及分接范围			联结组标号	空载损耗（W）	负载损耗（W）
	高压（kV）	高压分接范围（%）	低压（kV）			
630	6 6.3 10 10.5 11	±5	3 3.15 6.3	Yd11	1030	7290
800					1260	8910
1000					1480	10440
1250					1750	12420
1600					2110	14850
2000					2520	17820
2500					2970	20700
3150					3510	24300
4000	10 10.5 11		3.15 6.3		4320	28800
5000					5130	33030
6300					6120	36900

注 本表摘自GB/T 6541—2008《油浸式电力变压器技术参数和要求》。

（三）变压器室通风量的计算

变压器室的通风量计算式为

$$L=\frac{3600Q}{c\rho\ (t_{\mathrm{p}}-t_{\mathrm{j}})} \tag{4-3}$$

式中 L——变压器室的通风量，m^3/h。
Q——变压器的散热量，kW。
c——空气比热容，取1.01kJ/（kg·℃）。
ρ——进/排风密度，kg/m^3，计算进风量时，取与进风温度对应的密度；计算排风量时，取与排风温度对应的密度。
t_{p}——排风温度，对于油浸式变压器，$t_{\mathrm{p}}\leqslant$45℃；对于干式变压器室，$t_{\mathrm{p}}\leqslant$40℃。
t_{j}——进风温度，℃，对于直接从室外进风的，t_{j}应取当地夏季通风室外计算温度；当

受安装条件限制，由室内进风时，t_j应按温度梯度计算确定，当温度梯度难以确定时，进风温度宜取通风室外计算温度附加2～3℃。

（四）油浸式变压器室的通风

（1）油浸式变压器室宜采用自然通风方式。当自然通风方式不能满足要求时，可采用机械通风方式。机械通风方式宜选用机械进风、自然排风方式。送风口宜直接吹向变压器的排热管，布置方案如图4-4所示。

（2）油浸式变压器室也可采用自然进风、机械排风方式。布置方案如图4-5所示。

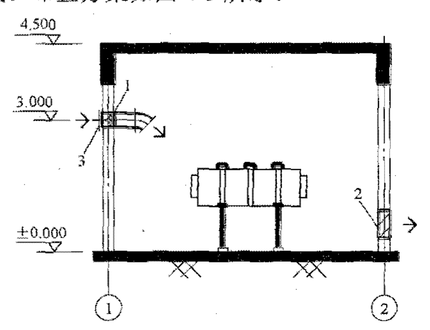


图4-4　机械进风、自然排风布置图
1—轴流风机；2—排风百叶窗（带防虫网）；
3—防虫网（建议设置）

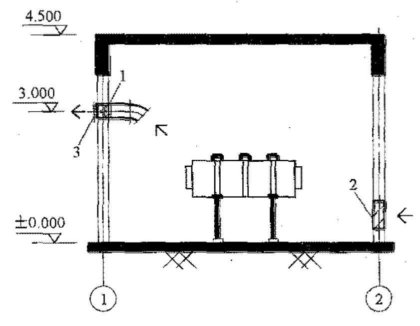


图4-5　自然进风、机械排风布置图
1—轴流风机；2—进风百叶窗（带防虫网）；
3—自垂百叶（建议设置）

（3）通风设计布置要求。

1）每个油浸式变压器室的通风系统应独立设置，不能合并布置。通风系统应与其他通风系统分开。

2）设有火灾检测系统的变压器室，发生火灾时应能自动切断通风机电源。

第五节　厂用配电装置室

一、工艺简介

1. 厂用配电装置室及其分类

厂用配电装置室分为高压厂用配电装置室和低压厂用配电装置室。低压厂用配电装置又分为PC（power center，电源中心）配电装置室和MCC（motor control center，电动机控制中心）配电装置室，以及配电容量较小不设专用房间的就地配电箱。

高压厂用配电装置室的供电电压通常为10kV或6kV，一般为200kW以上的大型电动机以及各PC配电装置室进行配电。

低压厂用配电装置室的供电电压一般为380/220V，大于75kW的大中型电动机一般通过PC配电装置室进行配电，小于75kW的小型电动机则通过MCC配电装置室进行配电，PC配电装置室同时为MCC配电装置室供电。就地配电箱则一般由MCC配电装置室配电。

高压厂用配电装置室布置有高压开关柜、母线等。低压厂用配电装置室布置有低压开关柜、低压配电屏，大部分PC配电装置室同时还布置有干式变压器。

高压厂用配电装置室和PC配电装置室主要布置在主厂房内，根据配电对象及主厂房的布置方案不同，主厂房内的厂用配电装置室一般布置在汽机房中间层、锅炉房或集控楼内。

此外，电除尘配电室、化学楼、运煤综合楼、翻车机室、循环水泵房等主要辅助车间一般也设有PC配电装置室，其他辅助建筑则主要设有MCC配电装置室。

2. 厂用配电装置室的环境要求

根据GB/T 25295—2010《电气设备安全设计导则》的规定："户内电气设备的周围空气温度不超过40℃而且在24h内平均温度不超过35℃。周围空气温度的下限为-5℃"。因此，厂用配电装置室对环境温度要求为-5～40℃，相对湿度应保证不产生结露现象，同时，室内空气应保持洁净。

二、厂用配电装置室供暖与通风

（一）供暖

（1）厂用配电装置室内的开关柜、配电屏、干式变压器等均属发热设备，室内一般不设供暖系统。

（2）严寒地区和靠近严寒地区的寒冷地区，厂用配电装置室室内温度有可能低于-5℃，应设计供暖设施。此外，为避免配电柜内温度与环境温度差过大产生凝露问题，冬季供暖室内设计温度应不低于5℃。供暖方式可采用热风、电暖器等，当采用热水或蒸汽为热媒的热风供暖时，加热机组应布置在配电室外。同时，直通室外的进、排风口应设置保温风阀。

（3）布置在汽机房或锅炉房内的无外墙的厂用配电装置室、MCC配电装置室可不另行设置冬季供暖设施。

（4）供暖系统水管、蒸汽管道等不得进入电气设备间内。

（二）通风

1. 设计原则

（1）厂用配电装置室的环境温度要求为–5～40℃，但在长期高温环境下运行将加速电气设备的老化而影响使用寿命。考虑到主厂房区域的厂用配电装置室内的开关柜数量较多，柜体对通风气流的横向阻隔作用，以及目前电厂低压配电装置室内常设有干式变压器，散热点过于集中会形成局部区域温度过高，为保证电气设备的安全正常运行，要求主厂房、集中控制楼、烟气除尘和除灰运煤建筑物内的厂用配电装置室夏季室内环境温度不宜高于35℃，其他建筑内的厂用配电装置室夏季室内环境温度不应高于40℃。

（2）厂用配电装置室通风量应按排除室内设备散热量来确定。通风系统应根据周围环境条件，按下列要求设计：

1）当周围环境洁净时，宜采用自然进风、机械排风方式。

2）当周围空气含尘严重，应采用机械送风方式，进风应过滤，室内保持正压。

（3）主厂房、集中控制楼、烟气除尘和除灰建筑物内厂用配电装置室，当夏季通风室外计算温度大于或等于30℃时，通风系统宜采取降温措施。

（4）厂用配电装置室降温通风系统的房间计算冷负荷，应按排除室内电气设备散热量与围护结构得热量来确定。当外部环境与室内温差小于或等于5℃时，可仅按排除室内电气设备散热量计算。

（5）无可开启外窗的厂用配电装置室，应设换气次数不少于每小时6次的灭火后排风装置。用于排除室内设备散热的排风机，可兼作灭火后通风换气用。

（6）当厂用配电装置室采用全淹没气体灭火系统时，灭火后通风系统的设置应符合下列要求：

1）当用于排除室内设备散热的通风系统兼作灭火后通风换气用时，宜设置可自动切换的上、下部室内吸风口，排风应直通室外。当灭火后排风系统独立设置时，室内吸风口宜设置在下部，排风应直通室外。

2）通风管道穿越围护结构处应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀。排风系统的吸风管段应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀，或者吸风口采用具有电动关闭功能的防火风口。百叶窗应具有电动快关的功能。

3）电动快关型风阀及电动快关型百叶窗的控制电缆应采取耐火防护措施或选用具有耐火性能的电缆。

4）当厂用配电装置室发生火灾时，在消防系统喷放灭火气体前，防火阀、防火风口、电动风阀及百叶窗应能自动关闭。

（7）厂用配电装置室送风系统的空气处理设备宜按设计风量2×50%配置。

2. 通风负荷计算

（1）进行厂用配电装置室负荷计算时，可不计入围护结构和人体散热量等，仅计算室内电气设备散热量。当采用降温通风系统，且外部环境与室内温差大于5℃时，应计入围护结构的得热量。电气设备的散热量应由该设备制造厂商提供，当设备制造厂商不能提供确切的散热量时，可按以下取值原则进行计算：

1）每面盘柜散热量取值：

高压开关柜：200～300W；低压配电柜：250～350W；控制柜：200～250W。

2）PC配电装置室内通常布置有干式变压器，干式变压器的散热量取值和计算参见本章第四节。

3）高压厂用配电室共箱母线的散热量详细计算可参见本章第四节。一般情况下，母线负载时的散热量可按每根100～150W/m进行估算，主母线按80%计，分支母线按100%计。

（2）电气设备散热量的计算时，应对正常运行时各房间各设备的运行状态进行核实。运行状态和热备用状态的电气设备散热量按100%取值，冷备用状态的电气设备不考虑其散热量。

3. 通风量计算

厂用配电装置室应按排除余热来计算其通风量，无可开启外窗的厂用配电装置室应设换气次数不少于每小时6次的灭火后排风装置。

（1）排热通风量计算式为

$$L=\frac{3600Q}{\rho c(t_p-t_j)} \tag{4-4}$$

式中 L ——排热通风量，m^3/h。

Q ——余热量，kW。

c ——空气比热容，取1.01kJ/（kg·℃）。

ρ ——空气密度，kg/m^3。

t_p ——排风温度，℃。

t_j ——进风温度，℃，当由室外直接进风时，t_j采用夏季通风室外计算温度；当受安装条件限制，由室内进风时，t_j应按温度梯度计算确定，当温度梯度难以确定时，进风温度宜取通风室外计算温度附加2～3℃；当进风经过处理时，进风温度采用进风装置处理后的空气温度。

（2）换气通风量计算式为

$$L=nV \tag{4-5}$$

式中 L ——换气通风量，m^3/h；

n ——换气次数，1/h；

V ——房间容积，m^3。

4. 降温通风

主厂房、集中控制楼、烟气除尘和除灰建筑物内厂用配电装置室，当夏季通风室外计算温度大于或等于30℃时，通风系统宜采用降温措施。降温通风常见的空气处理方式有表冷式、制冷剂直接膨胀蒸发式、水蒸发冷却式，工程应用中应结合室外空气的比焓、温度及相对湿度特性、水资源条件等确定，优先考虑采用天然冷源及水蒸发冷却方式进行空气处理。

（1）表冷式及制冷剂直接膨胀蒸发式空气处理。表冷式空气处理一般采用人工冷源，当有可利用的地下水等天然冷源，且经过技术经济比较，应用条件成熟时也可以作为空气处理的冷媒。

表冷式及制冷剂直接膨胀蒸发式降温送风系统应尽量使用自然空气能，在选择空气处理方式时，应结合进风条件、夏季室外气象条件等确定。在设计工况下，根据室内外设计参数及其对应的空气处理方式，可分为3个空气处理分区。Ⅰ区：夏季室外通风计算温度高于室内设计温度，或室外通风计算温度虽然低于室内设计温度但其比焓高于室内，宜采用循环空气降温处理系统，同时，回风系统宜设置可切换的新风口，以便在室外温度降低至温度及比焓均低于室内值时，空气处理器的进风由循环风切换为室外新风，而过渡季节则完全采用全新风节能运行；Ⅱ区：室外通风计算温度低于室内设计温度且比焓低于室内值，但高于通风设计送风温度，宜采用直流式全新风降温空气处理系统；Ⅲ区：室外通风计算温度低于通风设计送风温度，通风系统直接从室外进风，无需进行降温处理。室外空气状态对应的空气处理方式如图4-6所示。

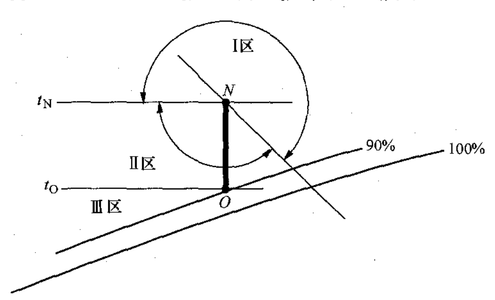


图4-6　空气处理分区图

t_N—室内空气计算干球温度，℃；

t_O—送风状态点干球温度，℃

此外，对于炉后等周边空气含尘量比较大的区域，送风量应大于排风量，维持室内一定的正压值，防止室外粉尘渗透到室内。

本着节能的原则，空气处理过程中应尽量减少去湿量，但完全干工况的空气处理有可能使送风温差偏小，导致送风机偏大，反而增加了风机电动机的能耗，使得综合能耗增加。有鉴于此，送风温差应综合考虑，不宜过小。同时为避免发生送风口结露问题，送风温差不得超过15℃，且送风温度应比房间空气露点温度高2～3℃。

空气处理设备送风量应按通风系统排风干球温度和空气处理设备送风干球温度之差计算确定（参见第二章第三节），设备制冷量则根据空气处理过程通过焓差计算确定（见第三章第四节）。

（2）水蒸发冷却式空气处理。水蒸发冷却式空气处理技术是一项通过水蒸发相变吸热，实现送风温度下降的空气处理技术，根据送风是否与水直接接触分为直接蒸发式和间接蒸发式。水蒸发冷却技术及空气处理过程参见第二章第三节。

1）空气处理方式的确定。按照DL/T 5515—2016《发电厂蒸发冷却通风空气调节系统设计规程》的规定，以室内空气设计参数和设计送风参数为界线共分为五个气象分区，如图4-7所示。

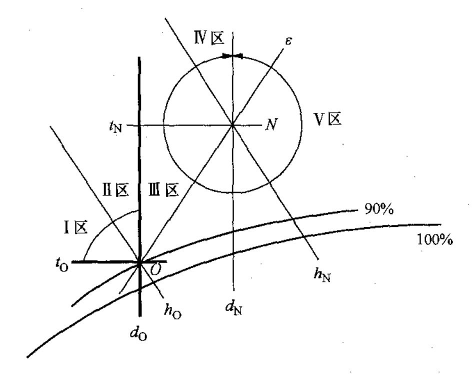


图4-7　气象分区图

h_N、d_N—室内空气计算焓值及含湿量，kJ/kg 干空气、g/kg 干空气；h_O、d_O—送风状态点比焓及含湿量，kJ/kg 干空气、g/kg 干空气

电气设备间采用水蒸发冷却通风系统进行降温时应根据所属的气象分区，经技术经济比较后选择合理的空气处理方案。气象分区及对应的空气处理方式应符合表4-8的规定。

表4-8　　气象分区及空气处理方式

分区	状态点特征	空气处理方式
Ⅰ	$h_W \leq h_O$，$d_W \leq d_O$	直接蒸发冷却
Ⅱ	$h_W > h_O$，$d_W \leq d_O$	间接蒸发冷却+直接蒸发冷却
Ⅲ	$h_O < h_W \leq h_N$，$d_W > d_O$	多级间接蒸发冷却+表冷器
Ⅳ	$h_W > h_N$，$d_W \leq d_N$	多级蒸发冷却+表冷器
Ⅴ	$h_W > h_N$，$d_W > d_N$	新风间接蒸发冷却+表冷器（新回风混合后）

注　1. h_W、d_W为室外空气计算比焓及含湿量，kJ/kg 干空气、g/kg 干空气。

2. 表冷器是指利用机械制冷进行空气冷却的表面式冷却器。

3. 表中Ⅴ区为非直流式全空气处理系统。

2）降温通风设计计算。水蒸发冷却降温通风设计计算主要包括送风空气干球温度计算、送风量计算、设备（功能段）制冷量计算、设备耗水量计算等。

a．送风空气干球温度计算。

（a）直接蒸发冷却送风空气干球温度计算式为

$$t_{g2}=t_{g1}-\eta_{DEC}(t_{g1}-t_{s1}) \tag{4-6}$$

式中 η_{DEC}——直接蒸发冷却效率；

t_{g1}——进风空气干球温度，℃；

t_{g2}——送风空气干球温度，℃；

t_{s1}——进风空气湿球温度，℃。

（b）间接蒸发冷却送风空气干球温度（一次出风空气干球温度）计算式为

$$t_{g2}=t_{g1}-\eta_{IEC}(t_{g1}-t'_{s1}) \tag{4-7}$$

式中 η_{IEC}——间接蒸发冷却效率，可按表2-58取值；

t'_{s1}——二次空气入口湿球温度，℃。

b．送风量计算式为

$$L=\frac{3600Q}{\rho c(t_n-t_0)} \tag{4-8}$$

式中 L——送风量，m^3/h；

Q——房间余热量，kW；

ρ——送风空气密度，kg/m^3；

c——送风空气比热容，取1.01kJ/（kg·℃）；

t_n——室内空气计算干球温度，℃；

t_0——送风状态点干球温度，℃。

c．设备（功能段）制冷量计算式为

$$Q_z=\frac{Lc_p(t_{g1}-t_{g2})}{3600} \tag{4-9}$$

式中 Q_z——制冷量，kW；

L——设备处理风量，kg/h；

c_p——空气比定压热容，取1.01kJ/（kg·℃）。

d．设备耗水量计算。

（a）直接蒸发机组的最大小时耗水量包括水蒸发损失、风吹损失和排污损失。最大小时耗水量计算式为

$$G_W=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\frac{3600Q_z}{r} \tag{4-10}$$

式中 G_W——最大小时耗水量，kg/h；

R——循环水的浓缩倍率，即循环水离子浓度与补水离子浓度的比值，可按2～4取值；

Q_z——水蒸发冷却设备的制冷量，kW；

r——水的汽化潜热，20℃时取2454kJ/kg；

1.1——风吹损失等安全裕量系数。

（b）间接蒸发冷却设备最大小时耗水量包括二次空气蒸发水损失、风吹损失和排污损失。最大小时耗水量计算式为

$$G_W=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\left(1+\frac{3.8A_r}{\eta_{IEC}}\right)\frac{3600Q_z}{r} \tag{4-11}$$

式中 A_r——间接蒸发二次空气与一次空气的比例，干燥地区0.5～0.75，中等湿度地区取0.8～1.0，高湿度地区取1.0～1.2。

5．通风系统布置

（1）进风口应尽量设置在空气洁净、非太阳直射区。

（2）当采用机械送风方式时，进风口的下缘距室外地坪不宜小于2m，送风应经过过滤处理，过滤器的布置应方便清洗、更换。

（3）通风系统应设计合理的气流组织，室内空气宜从低热强度区向高热强度区流动，排风口宜布置在房间的高热强度区，并设在房间的上部，同时应避免进风、排风短路。

（4）室内布置有干式变压器的低压厂用配电装置室，当采用自然进风、机械排风方式时，排风口宜靠近干式变压器的排热口布置。当采用机械进风、机械排风方式，并采用风管送风时，应合理分配气流，避免干式变压器周围局部区域形成高温。

（5）所有进风口、排风口应设置防止雨水、粉尘、小动物、小昆虫进入室内的设施。排风口宜设置自垂式百叶。

（6）有压水管（如供暖、冷冻水、冷却水管道）不得进入配电室内。

（7）厂用配电装置室通风系统的就地电源开关，应安装在便于操作的地点。

6．厂用配电装置室通风设计举例

【例4-1】 某电厂主厂房380V公用配电室，室内布置了低压配电盘和干式变压器，设备总发热量为35kW。当地夏季大气压为89840Pa，夏季通风室外计算干球温度为31.4℃，夏季通风室外计算相对湿度为50%。试设计其通风系统。

解 （1）当地夏季通风室外计算干球温度 t_W=31.4℃，夏季通风室外计算相对湿度50%。查焓湿图（如图4-8所示）t'_{s1}=22.8℃，属于燥地区，设计拟采用间接蒸发加直接蒸发降温方案，水蒸发冷却式送风机组机械送风，轴流风机机械排风。

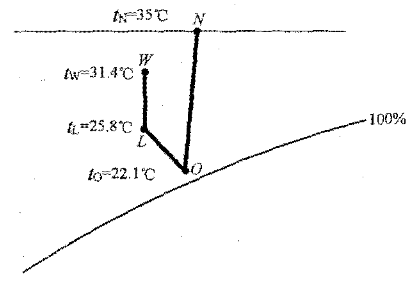


图4-8 配电室降温通风空气处理焓湿图

（2）间接蒸发冷却一次出风干球温度计算式为

$$t_{g2}=t_{g1}-\eta_{IEC}(t_{g1}-t'_{s1})$$

已知　$t_{g1}=t_W=31.4℃$，查焓湿图 $t'_{s1}=22.8℃$。

$t'_{s1}<23℃$，根据表 2-59，$\eta_{IEC}=0.65$。

则有　$t_L=t_{g2}=31.4-0.65(31.4-22.8)=25.8$（℃）

对应的湿球温度 $t_{s1}=21.4℃$

（3）直接蒸发冷却一次出风干球温度计算式为

$$t_{g2}=t_{g1}-\eta_{DEC}(t_{g1}-t_{s1})$$

已知　$t_{g1}=t_L=25.8℃$，$t_{s1}=21.4℃$，$t_{s1}<23℃$，根据表 2-59，$\eta_{DEC}=0.85$。

则有　$t_0=t_{g2}=25.8-0.85(25.8-21.4)=22.1$（℃）

（4）设备送风量计算式为

$$L=\frac{3600Q}{\rho c(t_N-t_0)}$$

已知　$Q=35kW$，$t_N=35℃$，$t_0=22.1℃$，$\rho=1.018kg/m^3$，$c=1.01kJ/(kg·℃)$

则有　$L=35\times3600/[1.018\times1.01\times(35-22.1)]$
$=9502$（m^3/h）

（5）设备选择。

1）送风设备选择。送风量应不低于 $9502m^3/h$，选择蒸发式送风机组 1 台，送风量 $L'=10000m^3/h$。

2）排风设备选择。排风量应不低于 $9502m^3/h$，因汽机房周边空气洁净度较好，室内无正压要求，选择 2 台轴流风机，风量为 $5117m^3/h$，总排风量为 $5117m^3/h\times2=10234m^3/h$。

配电室降温通风系统流程及布置分别如图 4-9、图 4-10 所示。

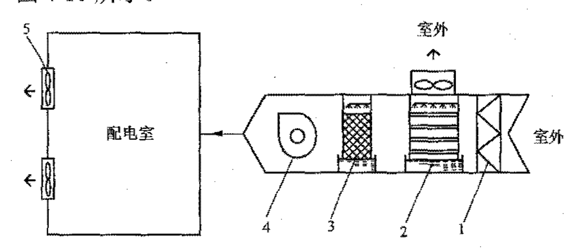


图 4-9　配电室降温通风系统流程图

1—空气过滤段；2—间接蒸发段；3—直接蒸发段；4—送风机；5—轴流风机

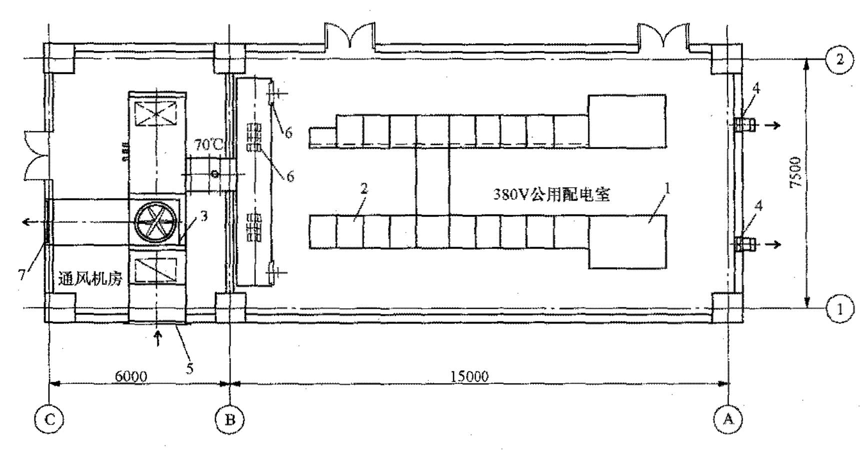


图 4-10　配电室降温通风布置图

1—干式变压器；2—配电柜；3—蒸发式送风机组；4—轴流风机；5—进风口（一次风及二次风）；6—送风口；7—二次风排风口

（6）蒸发式送风机组设备耗水量计算。

1）间接蒸发冷却段耗水量计算。

a．间接蒸发段制冷量 Q_z 计算式为

$$Q_z=\frac{Lc(t_{g1}-t_{g2})}{3600}$$

已知　$t_{g1}=t_W=31.4℃$，$t_{g2}=t_L=25.8℃$，$L=L'=10000m^3/h$。

则有　$Q_z=10000\times1.018\times1.01(31.4-25.8)/3600=16$（kW）

b．间接蒸发段耗水量 G_{W1} 计算式为

$$G_{W1}=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\left(1+\frac{3.8A_r}{\eta_{IEC}}\right)\frac{3600Q_z}{r}$$

式中　R——取 3；

A_r——取 0.6。

则有 $G_{W1}=1.1\times[1+1/(3-1)](1+3.8\times0.6/0.65)\times3600\times16/2454=174$（kg/h）

2）直接蒸发冷却段耗水量计算。

a．直接蒸发段制冷量 Q_z 计算

$$Q_z=\frac{Lc(t_{g1}-t_{g2})}{3600}$$

已知　$t_{g1}=t_L=25.8℃$，$t_{g2}=t_0=22.1℃$

则有　$Q_z=10000\times1.032\times1.01\times(25.8-22.1)/3600=10.57$（kW）

b．直接蒸发段耗水量 W_2 计算式为

$$G_{W2}=1.1\left(1+\frac{1}{R-1}\right)\frac{3600Q_z}{r}$$

则有　$G_{W2}=1.1\times[1+1/(3-1)]\times3600\times10.57/2454=26$（kg/h）

3）设备总耗水量 G_W 计算式为

$G_W=G_{W1}+G_{W2}=174+26=200$（kg/h）

第六节　励 磁 设 备 室

一、工艺简介

1. 励磁设备简介及布置

供给同步发电机励磁电流的电源及其附属设备统称为励磁系统，它一般由励磁功率单元和励磁调节器两个主要部分组成。励磁功率单元向同步发电机转子提供励磁直流电流，由励磁变压器、硅整流装置柜、交流进线柜、直流出线柜及灭磁开关柜组成，而励磁调节器则根据输入信号和给定的调节准则控制励磁功率单元的输出。

励磁调节器柜、硅整流装置柜、交流进线柜、直流出线柜及灭磁开关柜通常一起布置在励磁设备室内，而励磁变压器一般另行布置，如就近布置在汽机房内。部分国产励磁系统的励磁调节器柜可以和其他盘柜分开布置，此时，可以将励磁调节器柜布置在电子设备间等空气调节房间，硅整流装置柜、交流进线柜、直流出线柜及灭磁开关柜则集中布置在励磁设备室。国外主流生产厂家励磁系统的励磁调节柜基本上与其他盘柜一起布置在励磁设备室内。

励磁设备室一般布置在中间层和运转层，部分工程采用开敞式布置，仅在四周设玻璃围墙。

2. 励磁设备对环境的要求

励磁变压器、硅整流装置柜、交流进线柜、直流出线柜及灭磁开关柜，最高允许环境温度均为40℃。为保证设备运行安全性，夏季室内设计温度不宜高于35℃。GB/T 25295—2010 规定：“户内电气设备的周围空气温度的下限为-5℃”。但室内温度过低会使柜体上液晶显示屏产生凝露，甚至凝霜，故冬季室内环境温度不宜低于5℃。

励磁调节器柜内有 PLC 控制器及其他控制元器件，要求夏季室内环境温度不宜高于30℃，冬季室内环境温度不宜低于18℃。

二、励磁设备室供暖通风与空气调节

（一）供暖

（1）室内布置有励磁调节器柜的励磁设备室，冬季室内环境温度不宜低于18℃，冬季供暖方式可采用热风、电暖器等，当采用热水或蒸汽为热媒的热风供暖时，加热机组应布置在配电室外。

（2）严寒地区和靠近严寒地区的寒冷地区的室内无励磁调节器柜的励磁设备室，冬季室内环境温度不宜低于 5℃。当有外墙时，应设置冬季供暖设施，供暖方式可采用热风、电暖器等，当采用热水或蒸汽为热媒的热风供暖时，加热机组应布置在配电室外。冬季供暖应充分利用室内设备散热。

（3）严寒地区布置在汽机房靠外墙的励磁设备室，进风口或硅整流装置柜体排风口宜设置在汽机房内，以有利于励磁设备室冬季防冻。

（二）通风

1. 设计原则

（1）室内无励磁调节器柜的励磁设备室。

1）夏季室内环境温度不宜高于 35℃，冬季室内环境温度宜按 5℃设计。

2）励磁设备室夏季宜采用机械通风方式来排除室内余热。励磁设备室布置在汽机房内，周围空气较洁净，通风系统可采用自然进风方式，进风应设粗效过滤器。

3）硅整流装置柜体排风宜直接引至室外，排风由硅整流装置柜体排风和房间排热风机共同保证，进风应满足柜体排风和消除室内电气设备余热所需的排风量之和。

4）当励磁设备室受条件限制，硅整流装置柜体排风必须排入室内，且采用自然进风、机械排风方式不能满足要求时，可采取降温措施。

5）机械通风系统宜配置多台通风设备。

（2）室内布置有励磁调节器柜的励磁设备室。

1）夏季室内环境温度不宜高于 30℃，冬季室内环境温度宜按 18℃设计。

2）室内应设置降温通风系统，进风应采用粗效及中效过滤。降温通风常见的空气处理方式有表冷式、制冷剂直接膨胀蒸发式、水蒸发冷却式，工程应用中应结合室外空气的比焓、温度及相对湿度特性、水资源条件等确定，优先考虑采用天然冷源及水蒸发冷却方式进行空气处理。

3）水蒸发冷却式降温送风应采用全新风系统。表冷式、制冷剂直接膨胀蒸发式降温送风系统应尽量使用干空气能，在选择空气处理方式时，应结合进风条件、夏季室外气象条件等，通过能耗比较，确定采用全新风方式或室内循环风方式。

4）励磁设备室设计室内循环风方式降温通风系统，回风系统宜设置可开闭的新风口，以便在过渡季节，实现全新风节能运行。励磁设备室采用柜式空调时，宜设置一套机械通风系统，用于过渡季节排热通风，进风口应能手动或自动关闭，进风应过滤。

5）励磁设备室采用全新风运行方式的降温通风系统时，为了减少通风量，宜将硅整流装置柜体排风直接引至室外，送风系统的风量应满足柜体排风和消

除室内电气设备余热所需的排风量之和。

6）励磁设备属发电厂的关键电气设备，对电力系统以及电动机本身的安全稳定运行有很大的影响，降温通风设备建议采用不同冷源的降温通风或空气调节设备互为备用。

2. 通风负荷计算

（1）设备散热量。电气设备的散热量应由该设备制造厂商提供，当设备制造厂商不能提供确切的散热量时，可按以下取值原则进行计算：

1）灭磁开关柜、交流进线柜、直流出线柜按照每面 250～350W 散热量计算。

2）母线散热量计算可参见本章第八节，资料不足时，可按 450～650W/m 计算。

3）磁调节器柜按照每面 1kW 散热量计算。

4）硅整流装置柜按每 1000A 额定励磁电流散热量为 5kW 估算。硅整流装置柜体排风直接引至室外时，设备散热量的 10%～15%计入房间得热量。

（2）围护结构得热量。降温通风系统的房间计算冷负荷，应按排除室内电气设备散热量与围护结构得热量来确定。当室内与外部环境温差小于或等于 5℃时，可仅按排除室内电气设备散热量计算。机械通风系统可不考虑围护结构得热量。

3. 通风量计算

硅整流装置柜体热风全部排入室内时，励磁设备室降温通风计算参见本章第五节；硅整流装置柜体排风直接引至室外时，可按风量平衡和热量平衡进行计算。

（1）风量平衡计算式为

$$L_{zj}+L_{jj}=L_{zp}+L_{jp} \tag{4-12}$$

式中　L_{zj}——自然进风量，kg/s；

L_{jj}——机械进风量，kg/s；

L_{zp}——自然排风量，kg/s；

L_{jp}——机械排风量，kg/s。

（2）热量平衡计算式为

$$cL_{p}\rho_{n}t_{n}+cL_{sp}\rho_{sp}t_{sp}=Q_{sp}+\sum Q_{w}+\sum Q_{S}+cL_{jj}\rho_{jj}t_{jj}+cL_{zj}\rho_{w}t_{w} \tag{4-13}$$

式中　c——空气比热容，取 1.01kJ/（kg・℃）。

L_{p}——全面排风量，m^3/s。

ρ_{n}——室内空气密度，kg/m^3。

t_{n}——室内排出空气温度，℃。

L_{sp}——硅整流装置柜引至室外的风量，m^3/s。

ρ_{sp}——硅整流装置柜排风空气密度，kg/m^3。

t_{sp}——硅整流装置柜排风温度，℃。

Q_{sp}——硅整流装置柜散热到室内的热量，取该设备散热量的 10%～15%，kW。

$\sum Q_{w}$——维护结构得热量，kW。

$\sum Q_{S}$——其他电气设备总散热量，kW。

L_{jj}——机械进风量，m^3/s。

ρ_{jj}——机械进风空气密度，kg/m^3。

t_{jj}——机械进风温度，℃。

L_{zj}——自然进风量，m^3/s。

ρ_{w}——室外空气密度，kg/m^3。

t_{w}——通风室外计算温度，℃，对于直接从室外进风的，t_{w} 应取当地通风室外计算温度；对于从汽轮机房进风的，t_{w} 取汽轮机房夏季工作地点温度，按 DL/T 5035—2016 取值，℃。

室内布置有励磁调节器柜的励磁设备室采用室内循环风方式降温通风，并设计机械通风系统过渡季节运行的，过渡季节通风量按排热通风计算。

4. 通风设备的布置

（1）室内无励磁调节器柜的励磁设备室。室内无励磁调节器柜的励磁设备室夏季排热采用机械通风方式，硅整流装置柜体排风宜直接引至室外。

大功率硅整流装置电流大、功率损耗大、发热量大，硅整流装置冷却对保证设备正常运行很重要，可分为风冷、油冷和水冷三种冷却方式。火力发电厂励磁设备室硅整流装置柜本体采用风冷冷却，下部吸风，顶部或侧面排风。

通风系统进风口或送风口宜布置在房间下部，并与硅整流装置柜吸风口同一侧，排风口布置在房间上部，使硅整流装置柜获得良好的空气流场。

设计通风系统前，宜与电气设备厂家充分沟通，当硅整流装置柜体自带排风机预留足够的余压，可以克服柜体排风管道阻力时，硅整流装置本体排风宜直接引出室外，硅整流装置柜体散入室内的发热量及房间其他得热量由房间通风系统排出。排风机宜多台设置，当一台排风机检修时，其他排风机排风量可以满足室内通风需求。通风布置如图 4-11 所示。

若硅整流装置柜体自带排风机的余压不足，则宜设排风罩，通过排风机将硅整流装置柜热风排至室外，硅整流装置柜散入室内的热量及其他得热量由其他排风机排出。为了增加运行可靠性，排风罩宜联合设置，排风罩的排风机宜按整流装置柜数量多台设置，当一台排风机检修时，其他排风机可以排走硅整流装置柜全部热风。通风布置如图 4-12 所示。

（2）室内布置有励磁调节器柜的励磁设备室。室内布置有励磁调节器柜的励磁设备室应设置降温通风系统。降温通风系统的方式应根据夏季室外气象参数、进风条件，并结合励磁设备室周围的空间布局确定。

励磁设备室周围空间允许时，宜优先选择节能的水蒸发冷却送风机组，或采用组合式空气处理机组；

周围空间较小时，可采用风冷分体柜式空调或柜式空气处理机组。水蒸发冷却送风机组和空气处理机组均须布置在励磁设备室外，有压水管不得进入励磁设备室内。

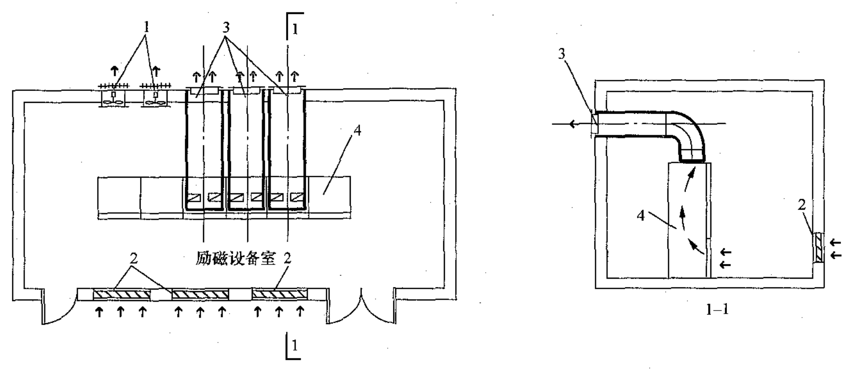


图 4-11　硅整流装置柜体热风直接引至室外通风布置图

1—排风机；2—百叶窗；3—排风口；4—硅整流装置柜

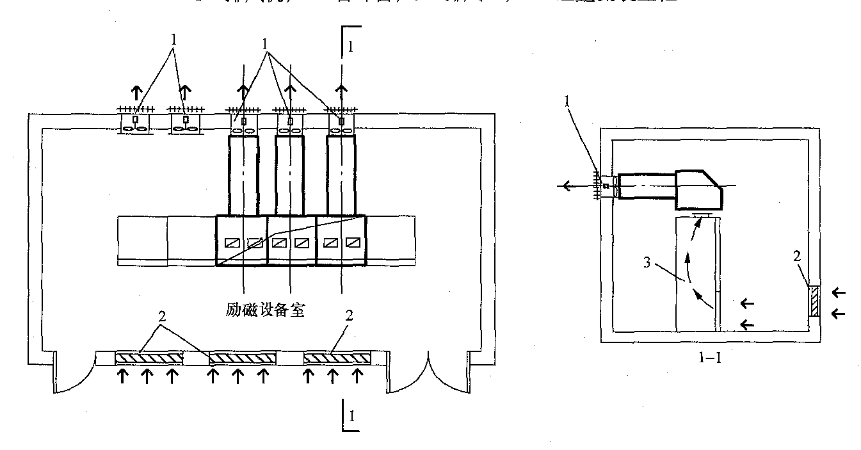


图 4-12　硅整流装置柜体热风通过排风罩排至室外通风布置图

1—排风机；2—百叶窗；3—硅整流装置柜

常见降温通风布置有以下几种：

1）当夏季室外设计参数适宜，且励磁设备室周围空间允许时，降温通风设备宜优先选择节能的水蒸发冷却送风机组，采用全新风运行方式，硅整流装置本体排风宜直接引出室外，室内宜保持正压。降温通风布置如图 4-13 所示。

2）当夏季室外设计参数不适合采用全新风运行方式，有集中冷水供应，且励磁设备室周围空间允许时，降温通风设备宜选择组合式空气处理机组，并设计有切换装置，以便于过渡季节全新风运行，室内宜保持正压。宜设计 1 台 100%容量风冷分体空气调节器作为备用。降温通风布置如图 4-14 所示。

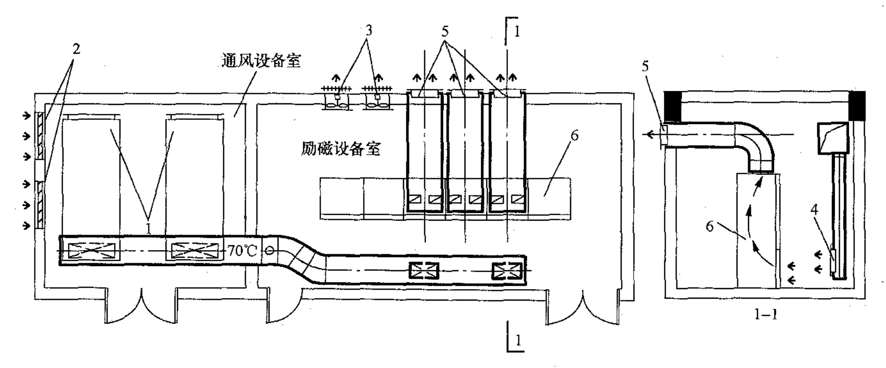


图 4-13　全新风方式降温通风布置图

1—水蒸发式空气处理机组；2—进风百叶窗；3—排风机；4—送风口；5—排风口；6—盘柜

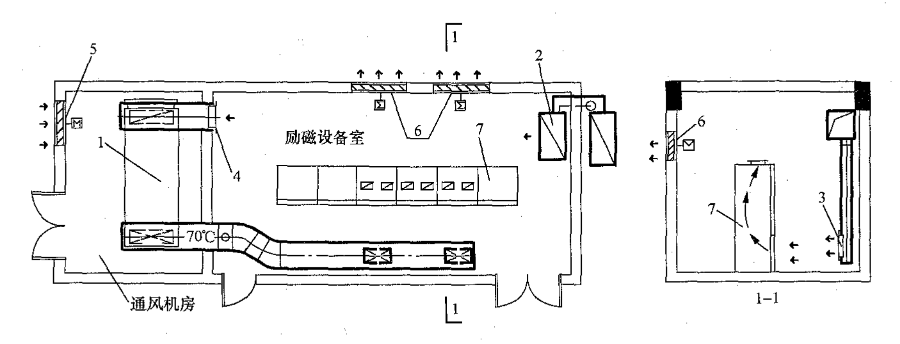


图 4-14　室内循环风方式降温通风布置图（一）

1—组合式空气处理机组；2—风冷分体式空调；3—送风口；4—回风口（防火）；

5—进风电动百叶窗；6—排风电动百叶窗；7—盘柜

3）当夏季室外设计参数不适合采用全新风运行方式，有集中冷水供应，且励磁设备室周围空间较小时，降温通风设备宜选择立柜式、卧柜式或吊柜式空气处理机组，并设置一套机械通风系统，用于过渡季节排热通风。宜设计一台 100%容量风冷分体空调作为备用。降温通风布置如图 4-15 所示。

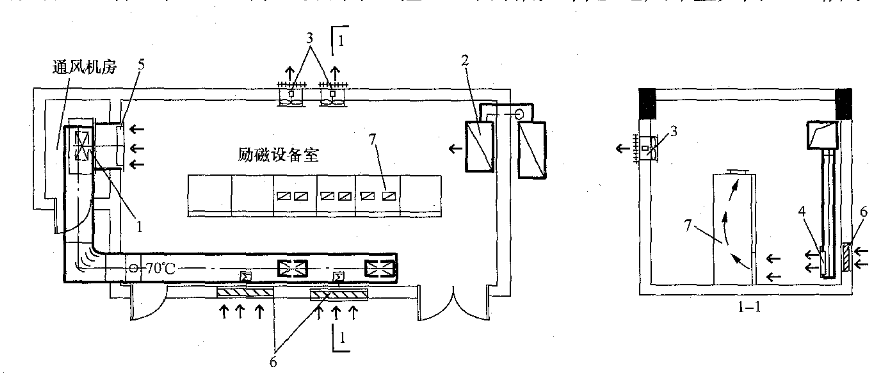


图 4-15　室内循环风方式降温通风布置图（二）

1—柜式空气处理机组；2—风冷分体式空调；3—排风机；

4—送风口；5—回风口（防火）；6—电动百叶窗；7—盘柜

4）当夏季室外设计参数不适合采用全新风运行方式，无集中冷水供应，且励磁设备室周围空间较小时，降温通风设备宜选择风冷分体式空调，宜设置一套机械通风系统，用于过渡季节排热通风。降温通风设备宜按 2×100%或 3×50%容量配置。降温通风布置如图 4-16 所示。

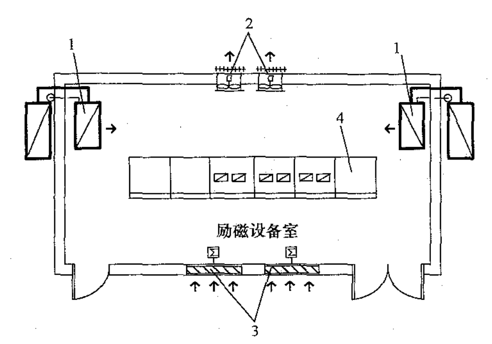


图 4-16　室内循环风方式降温通风布置图（三）

1—风冷分体式空调；2—排风机；

3—电动百叶窗；4—盘柜

（三）空气调节

励磁调节器柜布置在电子设备间时，空气调节设计参见第三章。

独立布置励磁调节器柜的房间应设置空气调节装置，按 2×100%或 3×50%容量配置，当空气调节系统采用冷水作为冷却介质时，其中备用设备可采用分体空调，夏季室内环境温度不宜高于 30℃，冬季室内环境温度宜按 18℃设计。

第七节　电　抗　器　室

一、工艺简介

1. 电抗器

电抗器也称为电感器，是依靠线圈的感抗阻碍电流变化的电气设备。按照绕组内有无铁芯分为铁芯式、空芯式，按内部结构分为油浸式、混凝土柱式和干式，按照功能分为限流和补偿，按照用途分为限流、并联、

通信、滤波、启动等。

电抗器用于较大容量的配电装置中，用于限制短路电流，也可以用作整流装置中滤波电抗器。

电抗器一般布置在主厂房配电装置室内，目前大容量电厂已经很少使用了，在50MW及以下容量的自备电厂中使用较多。从安全角度考虑，油浸式电抗器已很少使用，常采用混凝土柱式和干式。

2. 电抗器对环境的要求

电抗器室室内环境温度为-25～40℃，要求室内无易燃易爆物品、无腐蚀性气体、洁净、有良好的通风条件。

二、电抗器室通风

1. 设计原则

（1）电抗器布置在主厂房配电装置室内时，通风设计应与配电装置室一起考虑，室内环境温度不宜高于35℃，相应的通风设计要求参见本章第五节。

（2）电抗器独自布置在室内，当周围环境洁净时，宜采用自然通风方式。当自然通风方式满足不了要求时，应采用自然进风、机械排风方式，通风系统按夏季排风温度不超过40℃设计。

（3）电抗器室周围空气含尘严重，应采用机械进风、机械排风方式，或机械进风、自然排风方式，室内保持正压。进风口无法设在空气洁净的区域时，进风应过滤。

2. 电抗器散热量计算

电抗器散热量计算式为

$$Q=\eta_1\eta_2 P \tag{4-14}$$

式中 Q——电抗器散热量，W；

η_1——电抗器的利用系数，取η_1=0.95；

η_2——电抗器的负载系数，取η_2=0.75；

P——额定功率下电抗器的功率损耗，W。

电抗器的功率损耗应根据厂家提供的参数确定，当无法得到准确数据时，可根据表4-9～表4-11进行选用。表4-9～表4-11摘自JB/T 10775—2007《6kV～35kV级干式并联电抗器技术参数和要求》。

表4-9　　三相干式铁芯并联电抗器的技术性能参数

额定容量（kvar）	电压等级（kV）	额定电压（kV）	最高工作电压（kV）	绕组联结方式	额定总损耗（115℃）		声级水平［dB（A）］	
					对应K值	损耗值（kW）	声压级	声功率级
2000	6 10	6 6.3 10 10.5 11	7.2 12	Y	0.050	15.0	55	71
2500					0.0495	17.5	55	72
（3000）					0.049	20.0	55	72
3150						20.5		
4000					0.048	24.0	56	73
5000					0.047	28.0	56	74
6300					0.046	32.5	57	75
8000					0.044	35.0	58	76
10000					0.043	43.0	59	77
12500					0.042	50.0	59	78
（15000）					0.040	53.0	60	79
16000						55.5		
2500	35	35 38.5	40.5	Y	0.052	18.5	55	73
（3000）					0.051	20.5	56	74
3150						21.5		
4000					0.050	25.0	56	74
5000					0.049	29.0	57	75
6300					0.048	34.0	57	75
8000					0.046	39.0	58	76
10000					0.045	45.0	59	77
12500					0.043	51.0	59	78
（15000）					0.042	57.0	60	79
16000						60.0		

注 1. 括号内的额定容量为非优先值。

2. 本表的额定总损耗适应于绝缘耐热等级为F级的产品（其他等级暂无规定）。

3. 额定总损耗按$P=KS^{0.75}$（K值随额定容量S增加而递减）计算得到，其他容量下的总损耗可参考本表取值计算。

4. 声级水平应以声功率级为准，声压级仅作参考。

表 4-10　　**单相干式铁芯并联电抗器的技术性能参数**

额定容量（kvar）	电压等级（kV）	额定电压（kV）	最高工作电压（kV）	三相组联结方式	额定总损耗（115℃）		声级水平［dB（A）］	
					对应 K 值	损耗值（kW）	声压级	声功率级
2000	6 10	$6/\sqrt{3}$ $6.3/\sqrt{3}$ $10/\sqrt{3}$ $10.5/\sqrt{3}$ $11/\sqrt{3}$	$7.2/\sqrt{3}$ $12/\sqrt{3}$	Y	0.048	14.5	55	71
2500					0.0475	17.0	55	72
（3000）					0.047	19.0	55	72
3150						20.0		
4000					0.046	23.0	56	73
5000					0.045	27.0	56	74
6300					0.044	29.5	57	75
8000					0.043	35.5	58	76
10000					0.041	41.0	59	77
12500					0.040	46.0	59	78
（15000）					0.038	51.5	60	79
16000						54.0		
2000	35	$35/\sqrt{3}$ $38.5/\sqrt{3}$	$40.5/\sqrt{3}$	Y	0.050	15.0	55	72
2500					0.0495	17.5	55	73
3150					0.049	20.0	56	74
（3340）						20.5		
4000					0.048	24.0	56	74
5000					0.047	28.0	57	75
6300					0.046	32.5	57	75
8000					0.044	35.0	58	76
10000					0.043	43.0	59	77
12500					0.042	50.0	59	78
（15000）					0.040	53.0	60	79
16000						55.5		

注　1. 括号内的额定容量为非优先值。

2. 本表的额定总损耗值适应于绝缘耐热等级为 F 级的产品（其他等级暂无规定）。

3. 额度总损耗按 $P=KS^{0.75}$（K 值随额定容量 S 增加而递减）计算得到，其他容量下的总损耗可参考本表取值计算。

4. 声级水平应以声功率级为准，声压级仅作参考。

表 4-11　　**单相干式空芯并联电抗器的技术性能参数**

额定容量（kvar）	电压等级（kV）	额定电压（kV）	最高工作电压（kV）	三相组联结方式	额定总损耗（75℃）		声级水平［dB（A）］	
					对应 K 值	损耗值（kW）	声压级	声功率级
2000	6 10	$6/\sqrt{3}$ $6.3/\sqrt{3}$ $10/\sqrt{3}$ $10.5/\sqrt{3}$ $11/\sqrt{3}$	$7.2/\sqrt{3}$ $12/\sqrt{3}$	Y	0.050	15.0	51	69
2500					0.0495	17.5	51	69
（3000）					0.049	20.0	52	70
3150						20.5		
4000					0.048	24.0	52	70
5000					0.047	28.0	52	70

续表

额定容量（kvar）	电压等级（kV）	额定电压（kV）	最高工作电压（kV）	三相组联结方式	额定总损耗（75℃）		声级水平［dB（A）］	
					对应 K 值	损耗值（kW）	声压级	声功率级
6300	6 10	$6/\sqrt{3}$ $6.3/\sqrt{3}$ $10/\sqrt{3}$ $10.5/\sqrt{3}$ $11/\sqrt{3}$	$7.2/\sqrt{3}$ $12/\sqrt{3}$	Y	0.046	32.5	53	71
8000					0.044	35.0	54	72
10000					0.043	43.0	55	73
12500					0.042	50.0	55	74
（15000）					0.040	53.0	56	75
16000						55.5		
3150	35	$35/\sqrt{3}$ $38.5/\sqrt{3}$	$40.5/\sqrt{3}$	Y	0.051	21.5	53	72
（3340）						22.5		
4000					0.050	25.0	53	72
5000					0.049	29.0	53	72
6300					0.048	34.0	54	73
（6670）						35.5		
8000					0.046	39.0	54	73
10000					0.045	45.0	55	74
12500					0.044	51.0	55	74
（15000）					0.042	57.0	56	75
16000						60.0		
20000					0.040	65.5	57	76
25000					0.038	75.5	59	78
31500					0.036	85.0	61	80
40000					0.033	93.5	62	81

注 1．括号内的额定容量为非优先值。

2．额定总损耗按 $P=KS^{0.75}$（K 值随额定容量 S 增加而递减）计算得到，其他容量下的总损耗可参考本表取值计算。

3．声级水平应以声功率级为准，声压级仅作参考。

3．电抗器室通风量计算

电抗器室的通风量计算式为

$$L=\frac{3600Q}{c\rho\ (t_p-t_j)} \tag{4-15}$$

式中 L——电抗器室的通风量，m^3/h。

Q——电抗器的散热量，kW。

c——空气比热容，取 1.01kJ/（kg·℃）。

ρ——进/排风密度，kg/m^3。计算进风量时，取与进风温度对应的密度；计算排风量时，取与排风温度对应的密度。

t_p——排风温度，$t_p \leqslant 40$℃。

t_j——进风温度，℃，对于直接从室外吸风的，t_j 应取当地夏季通风室外计算温度；当受安装条件限制，由室内取风时，t_j 应按温度梯度计算确定，当温度梯度难以确定时，进风温度宜取通风室外计算温度附加 2～3℃。

4．电抗器室通风方式

电抗器室宜采用自然通风方式，当自然通风方式满足不了要求时，应采用自然进风、机械排风方式，如图 4-17 所示。

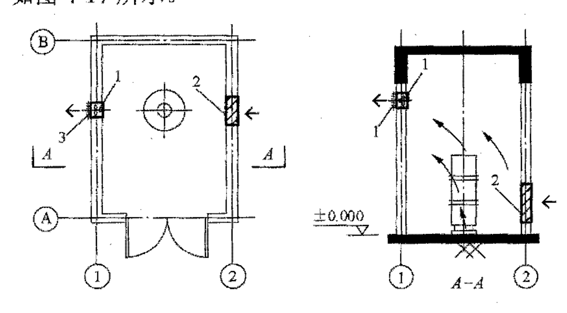


图 4-17　电抗器室自然进风、机械排风布置图

1—轴流风机；2—进风百叶窗

第八节　出线小室、母线室及母线桥

一、工艺简介

1. 出线小室

出线小室又称为发电机引出线小室，室内设备布置情况比较复杂，设备类型多样，一般布置有油断路器、六氟化硫断路器、隔离开关、励磁变压器、电抗器、电压互感器、电流互感器、励磁灭磁盘以及灭磁电阻等电气设备。

出线小室一般布置在汽机房发电机机座的端部及其相应的汽机房A排墙处。出线小室有单层布置和双层布置两种。当双层布置时，上层主要布置母线，下层主要布置设备。

一般来讲，中小容量的发电机组才布置有出线小室，200MW级及以上大容量机组发电机引出线分相母线及其配套设备（封闭在金属保护外壳内）常常采用敞开布置，取消了复杂的发电机出线小室，只保留安装励磁设备的房间，称为励磁设备室。

2. 母线室

125MW级及以下机组风冷发电机引出线母线从冷却风道中接出，由于风道较窄，只能采用敞露母线形式。出风道后仍采用敞露母线形式时，为了安全考虑，四周封闭，称为母线室。发电机出线小室到A排墙穿墙套管之间的敞露母线连接部分，四周封闭，称为母线桥。

200MW级及以上大容量发电机引出线母线、厂用分支母线和电压互感器分支母线等，为了避免相间短路、提高运行的安全性，一般采用全连式分相母线，布置在汽机房大空间内。

二、出线小室通风

出线小室室内设备布置复杂，出线小室的通风宜根据室内布置的设备种类，采取对应的通风方式：

（1）出线小室夏季室内设计温度不应高于40℃；当出线小室设有励磁盘柜时，夏季室内设计温度不应高于30℃，室内应设置降温通风系统，进风应采用粗效及中效过滤，降温通风设计可参见本章第五节。

（2）电压互感器、电流互感器、励磁灭磁盘及灭磁电阻的发热量很少，运行中也不产生油气，仅有上述设备的出线小室，125MW级及以下机组宜采用自然通风方式，125MW级以上机组可采用机械通风方式。

（3）励磁变压器、电抗器等设备发热量较大，自然通风方式无法消除余热，布置有上述设备的出线小室宜采用自然进风、机械排风方式，机械通风设计可参考本章第四节、第七节。

（4）硅整流装置柜硅整流元件发热量大，而且对环境中尘埃有较严格要求，布置有硅整流装置柜硅的出线小室宜采用自然进风、机械排风方式，进风宜过滤，以保证室内空气含尘量符合设备要求，硅整流装置柜体排风宜直接引至室外，机械通风设计可参考本章第六节。

（5）出线小室内布置有油断路器、隔离开关时，在运行过程中产生有害气体，布置有上述设备的出线小室宜采用自然进风、机械排风方式。通风量应满足换气次数不少于每小时12次的事故通风要求，事故排风口应接至室外。事故排风机可兼作排热用风机。

（6）出线小室内布置有六氟化硫断路器时，宜采用自然进风、机械排风方式，通风系统应同时设置上部排风口和下部排风口，上部排风量应满足排除室内设备散热量的要求，下部排风量宜按不少于每小时4次换气量计算，上部和下部排风量之和应满足不少于每小时12次的事故排风量要求，事故排风口应接至室外。布置有六氟化硫断路器的出线小室机械通风设计参见本章第十二节。

三、母线室及母线桥通风

1. 设计原则

母线室及母线桥通风量宜按夏季排风温度不超过45℃，进风和排风温差不超过15℃计算。

母线室及母线桥宜采用自然通风方式，当自然通风不能满足排除余热的要求时，可采用机械通风方式，通风量计算可参见本章第五节。

2. 散热量计算

电流通过母线，会损耗一定的功率，这部分损耗往往变成热量散热到环境中形成散热量。母线室母线的发热损耗为

$$Q_{wr}=I_w^2R_w \tag{4-16}$$

$$R_w=K_f\frac{\rho_{20}[1+0.004(t_{wr}-20)]}{\pi(D_w-\delta_w)\delta_w} \tag{4-17}$$

式中　Q_{wr}——母线的发热损耗，W/m；

I_w——母线的额定电流，A；

R_w——母线电阻，Ω/m；

K_f——母线集肤效应系数，根据外壳的材质、断面形状从相关线图查取；

ρ_{20}——20℃时母线的直流电阻率，铝 ρ_{20}=0.0295Ω·mm²/m；

t_{wr}——母线的运行温度，取 t_{wr}=45℃；

D_w——外壳外径，mm；

δ_w——外壳壁厚，mm。

母线的发热损耗和母线的材质、制造技术、焊接工艺水平关系较大。材质越好，母线接头的焊接工艺水平越高，其直流电阻就越小，发热损耗也就越小。一般来讲，母线的散热量为450～650W/m。

第九节　电缆夹层、电缆隧道

一、工艺简介

1. 电缆夹层

电厂中电缆夹层主要分布在汽机房A、B跨之间，集控楼、网络保护小室以及一些电缆比较集中的其他建筑物电气设备间下方。

6kV配电室和380V配电室下方的电缆夹层内主要是动力电缆和控制电缆；电子设备间及网络保护小室下方的电缆夹层内主要是控制电缆、计算机电缆及少部分动力电缆；其他建筑物电气设备间下方电缆夹层内主要是动力电缆。

电缆载流量是以40℃环境温度作为设计基准，环境温度过高对电缆载流量有较大影响，因此，电缆所处环境温度不宜高于40℃。

2. 电缆隧道

电缆隧道在我国北方少雨地区使用较为普遍，但在南方多雨地区且地下水位高，一般只有在电缆敷设较集中的地方才设电缆隧道，如沿主厂房B、C列通长布置。

在北方少雨地区，汽机房、锅炉房、厂用配电室、屋外高压配电装置、屋内高压配电装置的6kV电缆、380V电缆及控制电缆均可采用隧道敷设。

发电厂出线受场地限制时，主变压器至屋内配电装置的110kV或220kV电缆有采用电缆隧道敷设方式的情况。

一般来讲，在电缆隧道中，110kV或220kV电缆隧道以及电气楼和主厂房B、C排敷设的电缆发热量最大，其余处的电缆发热量相对较小。

二、电缆夹层、电缆隧道通风

（一）设计原则

1. 电缆夹层通风

电缆夹层室内设计温度不宜超过40℃，进风和排风温差不宜超过10℃。

汽机房、集控楼内采用全淹没气体灭火系统的电缆夹层，宜采用机械通风方式，避免采用自然通风方式时开窗面积较大，保证气体灭火时电缆夹层的密闭性。通风系统兼作灭火后通风换气的，宜设置可自动切换的上、下部室内吸风口；当灭火后排风系统独立设置时，室内吸风口宜设置在下部，排风应直通室外。发生火灾时，百叶窗和排风机应能联锁关闭，自然进风口应选择电动快关型防火百叶窗。

其他电缆夹层宜采用自然通风方式。

2. 电缆隧道通风

电缆隧道宜采用自然通风方式，夏季排风温度不宜超过40℃，进风和排风温差不宜超过10℃。

当有较多电缆导体工作温度持续达到70℃以上或其他影响环境温度显著升高时，可装设机械通风装置。如缺乏详细资料，则当电缆总功率损失超过150W/m时，应考虑机械通风方式。当采用机械通风方式不能满足要求时，可采取降温通风措施。

按照DL 5027—2015《电力设备典型消防规程》的要求，电缆隧道位于电厂内时，防火隔断设置间距不宜大于100m；电缆隧道位于电厂外时，防火隔断设置间距不宜大于200m。电缆隧道应按防火隔断分区段实行相互独立的通风系统，当发生火灾时，对应的防火分区及相邻分区的通风设备应能够自动关闭。设置在地面的进、排风竖井应与周边环境协调布置。

电缆隧道不应作为其他通风系统的吸风地点。

（二）电缆散热量计算

电缆散热量可按下面两种方法计算：

1. 详细计算法

（1）单根n芯电缆散热量计算式为

$$q=\frac{nl\rho_t I^2}{A}\times10^6 \tag{4-18}$$

$$\rho_t=\rho_{20}(1+a_{20}t) \tag{4-19}$$

式中　q——单根电缆散热量，W；

n——单根电缆芯数；

l——电缆长度，m；

ρ_t——电缆温度t时的电导率，Ω·m；

I——电缆载流量，A；

A——电缆截面积，m^2；

ρ_{20}——20℃时电缆导体的电阻系数，铜芯$\rho_{20}=1.84\times10^{-8}\Omega\cdot m$，铝芯$\rho_{20}=3.1\times10^{-8}\Omega\cdot m$；

a_{20}——20℃时电缆导体的电阻温度系数，铜芯$a_{20}=0.00393℃^{-1}$、铝芯$a_{20}=0.00403℃^{-1}$；

t——导线工作温度，取60℃。

单根电缆散热量也可通过表4-12、表4-13查得。

（2）电缆总散热量计算式为

$$Q_1=K(q_1+q_2+q_3+\cdots+q_N) \tag{4-20}$$

式中　Q_1——电缆总散热量，W；

K——电流参差系数，取0.85～0.95，电缆数量少取大值，电缆数量多取小值；

N——电缆总根数；

q_1、…、q_N——第1根、…、第N根电缆散热量，W。

2. 估算法

电缆散热量计算式为

$$Q_1=(q_1'C_1n_1+q_2'C_2n_2+q_3'C_3n_3+\cdots+q_N'C_Nn_N) \quad (4\text{-}21)$$

式中　c_1、…、c_N——第 1 规格、…、第 N 规格电缆散热损失系数，根据电缆性质从表 4-14 中选择；

n_1、…、n_N——第 1 规格、…、第 N 规格电缆数量；

q_1'、…、q_N'——第 1 规格、…、第 N 规格电缆散热量，W。

表 4-12　10kV 级及以下单根铜芯电缆的最大电流时的散热量 q　（W/m）

电缆截面积（mm²）	电压等级		
	3kV 以下	6kV	10kV
3*×4	16.5		
3*×6	18		
3*×10	19	13	13
3*×16	21.5	14.5	14
3*×25	24.5	15	14.5
3*×35	24.7	16.5	15
3*×50	26	20	16
3*×70	31	21	19
3*×95	33.5	23	19
3*×120	35.5	24	21
3*×150	40.5	27	22
3*×185	41	27.5	22.5
3*×240	41.5	28.5	24

* 表示 3 根电线。

表 4-13　110、220kV 级电缆单根铜芯电缆的最大电流时的散热量 q　（W/m）

电缆截面积（mm²）	110kV	电缆截面积（mm²）	220kV
240	30.6	630	27.8
300	29.6	800	26.2
400	26.9	1000	25.6
500	25.7	1200	24.3
630	24.0	1400	23.0
800	21.8	1600	22.1
1000	20.8	1800	21.0
1200	19.2	2000	20.5
		2200	19.4
		2500	18.6

表 4-14　电缆散热损失系数 C

序号	电缆的用途	C
1	110、220kV	0.85～0.95
2	6～10kV 发电机出线电缆	0.8～0.9
3	6～10kV 主变压器电缆	0.8～0.9
4	3～10kV 主变压器电缆	0.6～0.8
5	3（6）kV 厂用电动机馈线（200kW 以下）	0.2～0.3
6	3（6）kV 厂用电动机馈线（200～400kW）	0.4～0.6
7	引至 380V 电动机和车间动力盘的电缆	
	同一电路只一根电缆	0.6～0.8
	5～10 根电缆	0.5～0.7
	10～20 根电缆	0.4～0.6
	200 根以上电缆	0.35～0.4

（三）通风量计算

1. 电缆夹层的通风量计算

电缆夹层应按排除余热来计算其通风量，采用全淹没气体灭火系统的电缆夹层应设换气次数不少于每小时 6 次的灭火后排风装置。

电缆夹层通风量计算方法可参见本章第五节。

2. 电缆隧道的通风量计算

电缆隧道应按排除余热来计算其通风量，同时满足换气次数不少于每小时 6 次的事故后换气通风要求。

电缆隧道排除余热的通风量应根据电缆发热量确定，夏季排风温度不宜超过 40℃，进风和排风温差不宜超过 10℃，计算式为

$$L=\frac{3.6\times(Q_1-Q_2)}{0.28c\rho\Delta t} \quad (4\text{-}22)$$

式中　L——电缆隧道的通风量，m³/h；

Q_2——围岩散热量，可按电缆散热量的 30%～40%估算，W；

c——空气比热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

ρ——进/排风密度，kg/m³；

Δt——进风与排风温差，℃。

第十节　不间断电源室（UPS 室）、直流屏室

一、工艺简介

1. 不间断电源室（UPS 室）

不间断电源（UPS）主要用于电子计算机或微处理机、巡回检测装置、重要的热工仪表和自动调节及通信系统中不允许交流电源中断的负荷，当设备主电

源中断或电压低于规定限制时，通过逆变器转换为交流电为设备提供持续的交流电源。构成主要包括整流器、蓄电池及其充电器、逆变器、旁路开关和调压控制电路。

目前，火力发电厂机组 UPS 容量较大，一般采用外接蓄电池方式，与直流电源系统共用机组蓄电池，也有部分国外电厂要求自带蓄电池，UPS 装置设置在独立的 UPS 室内；辅助车间 UPS 因容量较小，一般自带蓄电池，UPS 室内布置了 UPS 及蓄电池设备。

UPS 的硅整流装置发热较大，而电子元件要求周围的空气温度不超过 30℃，相对湿度不超过 70%。

2. 直流屏室

火力发电厂中，直流电源主要供给控制、信号、保护、自动装置、事故照明、直流油泵和交流 UPS 装置等的用电。直流屏的主要功能就是完成直流转换、实现直流电源操作等，由交配电单元、充电模块单元、降压硅链单元、直流馈电单元、配电监控单元、监控模块单元及绝缘监测单元组成。直流屏室布置有整流装置柜、进线馈线屏、交直流电源切换屏等屏柜。

直流屏具有以下功能：在正常运行时，充电装置承担经常负荷，同时向蓄电池组充电（即浮充电），以补充蓄电池的自放电，使蓄电池以满容量的状态处于备用；交流电源系统事故停电时间内，由机组蓄电池通过直流屏提供直流电，满足事故负荷；定期对蓄电池组进行核对性放电，以检验其实际容量；蓄电池组放电后或直流电源系统投运前，向蓄电池组充电。

对单机容量为 200MW 级及以上的机组，直流屏宜布置在专用直流配电间内，通常与机组 UPS 合并布置在直流及 UPS 室内，单机容量为 125MW 级及以下的机组，直流屏可布置在电气继电器室或直流配电间内。

单机容量为 300MW 级及以上机组，辅助车间的直流电源单独设置直流电源成套装置。直流电源成套装置包括蓄电池组、充电装置和直流馈线，可布置在继电器室或配电间内。可能使用直流电源成套装置的辅助车间有化水车间、水泵房、脱硫岛、运煤综合楼及通信机房等。

DL/T 5044—2014《电力工程直流电源系统设计技术规程》规定，直流屏室内环境温度宜为 15～30℃，相对湿度宜为 30%～80%，不得凝露，温度变化率应小于 10℃ / h。

二、UPS 室、直流屏室供暖通风与空气调节

（一）供暖

UPS 室、直流屏室冬季室内环境温度不宜低于 18℃。冬季供暖方式可采用热风、电暖器等，当采用热水或蒸汽为热媒的热风供暖时，加热机组应布置在配电室外。

（二）通风

对 UPS 内置阀控密封式蓄电池的 UPS 室，正常运行时 UPS 基本无氢气泄漏，但仍有内置蓄电池发生过充故障的可能，室内除了设计空气调节装置外，还应设置换气次数不少于每小时 3 次的排风系统。排风系统不应与其他通风系统合并，排风口应引至室外。排风系统的室内吸风口应设在房间上部，吸风口上缘距顶棚平面或屋顶的距离不应大于 0.1m。

UPS 室、直流屏室采用全淹没气体灭火系统时，通风系统的设置参见本章第五节。

（三）空气调节

1. 负荷计算

UPS 室、直流屏室的外围护结构传热、灯光散热负荷计算等参见第三章。UPS 室、直流屏室的设备散热量宜按照生产厂家提供的数据确定，无厂家资料时，可按下列方法计算：

（1）UPS 设备散热量计算式为

$$Q = P_i(1-\beta) \tag{4-23}$$

式中 Q ——设备散热量，kW；

P_i ——输入功率，kW；

β ——额定负载时的整机效率。

表 4-15 所示为 SitePro 系列 UPS 设备散热量。

表 4-15 SitePro 系列 UPS 设备散热量

参数	规格								
额定输出功率 P_{No}（kV·A）	10	15	20	30	40	60	80	100	120
输入功率 P_i（kW）	8.9	13.4	17.6	26.4	34.6	51.9	69.2	86	103
额定负载时整机效率 β（%）	90	90	91	92	92.5	92.5	92.5	93	93
散热量 Q（kW）	0.88	1.33	1.58	2.09	2.59	3.89	5.19	6.02	7.23

（2）直流配电柜散热量可按以下取值原则进行计算：

1）整流装置柜按 1A 额定励磁电流散热量为 5W 估算。

2）220V DC动力进线馈线屏按照每面 250～350W 散热量计算。

3）110V DC控制进线馈线屏、交直流电源切换屏按照每面200～250W散热量计算。

2. 空气调节设计

（1）机组UPS通常与直流屏合并布置在与机组蓄电池室相邻的房间（直流及UPS室），夏季设计温度不大于30℃，冬季设计温度18℃，相对湿度40%～65%。

（2）直流及UPS室空气调节可采用柜式空气处理机或风冷分体式空调。采用风冷分体式空调时，设备配置不宜单台设置，可不考虑备用。

（3）有压水管（如供暖、冷冻水、冷却水管道）不得进入直流及UPS室内。

（4）UPS或直流屏设在热工电子设备间或电气继电器室内时，空气调节设计参见第三章。

（5）直流电源成套装置柜布置在继电器室内，通风空气调节设计参见第三章第一节；直流电源成套装置柜布置在辅助车间配电室内时，各辅助建筑通风空气调节设计参见第七章。

第十一节　电　梯　机　房

一、电梯机房简介

1. 工艺简介

在火力发电厂中，安装有电梯的建筑物主要有锅炉房、综合办公楼等处，本节主要介绍火力发电厂中布置于锅炉房的电梯机房。

火力发电厂的锅炉房通常每台锅炉设置一部电梯，电梯机房布置在炉顶平台处。

电梯机房内安装有电梯的电气控制设备、机械传动装置、电气控制保护屏等。电梯机房电气控制系统的主要发热部件有变频器、制动电阻、电动机等。电梯机房的机械传动设备主要是曳引机，曳引机通常由电动机、制动器、减速箱、曳引轮、导向轮、机架、盘车手轮等组成。

2. 电梯机房室内温度要求

在我国南方高温高湿地区，锅炉房一般采用四周敞开、炉顶加盖的露天岛式布置，但锅炉炉顶区域环境温度甚高；即使我国北方采用紧身封闭锅炉房，炉顶仍然为高温区域。

电气控制保护目前常采用PC程控方式，为了保证机房中设备的正常运行，电梯机房内要求夏季室内温度不应超过40℃。

二、电梯机房通风与空气调节

电梯机房应设置机械通风系统，通风量按换气次数不小于10次/h计算。进风窗（口）应避免设置在锅炉侧，进风应过滤；室内宜保持正压。

同时，电梯机房宜设置以夏季降温为主的空气调节装置，当机械通风不能满足设备运行要求时，开启空气调节装置降温。

空气调节装置宜采用风冷分体式空调，空调室外机宜布置在室外方便检修的平台上。如果布置在室内，应选择T3气候类型的分体式空气调节设备。

电梯机房夏季空气调节冷负荷的计算方法参见第三章第二节，应包括电梯机房房间计算冷负荷即围护结构传热、透过外窗进入的太阳辐射、室内设备散热、照明灯光散热、人体散热得热量等形成的冷负荷。

第十二节　六氟化硫（SF_6）电气设备室

一、工艺简介

1. SF_6电气设备

SF_6是一种性能优良的气体绝缘与灭弧介质，日益广泛地应用在电气设备中。纯SF_6是一种无色、无味、无臭、无毒的不可燃、可压缩的液化惰性气体，化学性质极为稳定，微溶于水，不与碱反应。SF_6在常温下呈气态，在温度20℃和101325Pa时的密度为6.16g/L（约为空气的5倍），临界温度为45.6℃。在生产SF_6气体时会伴随有多种有毒气体产生，并会混入产品气中。SF_6在电气设备中经电晕、火花放电及高电压大电流电弧的作用下，由于杂质的存在（尤其是水分的存在）使SF_6气体中产生多种由硫、氟、氧、氢、碳元素组成的化合物，其中相当部分具有腐蚀性、刺激性和毒性。这些有毒有害气体是HF、CF_4、SOF_2、SO_2F_2、SF_4、SOF_4、SO_2、S_2F_{10}、$S_2F_{10}O$、Si $(CH_3)_2F_2$等，固体分解产物有CuF_2和AlF_3粉末。这些杂质的存在，不仅会使电气设备的性能劣化，而且危及设备运行检修人员的人身安全，因此必须采取有效的安全防护措施，以免发生工作人员中毒事故。

电厂中使用SF_6电气设备的地方主要是开关场和主厂房。开关场户内配电装置室采用的SF_6电气设备全称为SF_6封闭式组合电器，国际上称为气体绝缘开关设备（gas insulated switchgear，GIS），包括母线、隔离开关、断路器（含操动机构）、电流互感器、电压互感器、接地开关、接口避雷器、进出线套管等。

SF_6电气设备在主厂房的应用一般在6kV配电装置室或出线小室。6kV配电装置可以采用SF_6断路器设备，但目前6kV真空断路器设备已得到广泛使用，SF_6电气设备已基本不采用。出线小室采用的SF_6电气设备一般是SF_6断路器，目前尚有使用。

另外，电厂中已很少设置SF_6气体实验室和SF_6

设备检修间，SF_6电气设备的检修基本采用外委方式，但地处偏僻的电厂仍有设置。

SF_6电气设备的特点是电压高、占地少、性能可靠，但价格比一般电气设备偏高。它一般用在沿海气象条件较复杂的地区。近年来，在内陆地区以及一些采用国外设备的电厂中也有使用的。

SF_6设备有室外和室内两种布置方式，本节主要是指室内布置的SF_6电气设备。

2. 对通风的要求

SF_6气体中含有的有毒气体和设备因电弧产生的气体及粉尘对人体呼吸系统及黏膜等有一定的危害。因此装有SF_6电气设备的电气设备室和SF_6气体实验室应设机械通风装置。

由于SF_6气体的密度是空气的5倍，其附带的大部分有毒气体、设备因电弧产生的气体及粉尘亦比空气重，易积留在下部空间，因此吸风口应设在室内下部，为防止因泄漏造成SF_6气体在室内滞留而引起缺氧或因微量有害物危害操作人员的健康，室内应进行通风换气。

按现行GBZ 2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值　第1部分：化学有害因素》的规定，车间空气中SF_6的含量不得超过6000mg/m³。

3. 运行事故

在发生事故时，GIS配电装置室内SF_6设备的防爆膜破裂，有害物泄漏到室内，需进行事故通风。

而GIS室内每个间隔的SF_6电气设备仅含有限SF_6气体量，当SF_6电气设备防爆膜破裂及其他原因造成气体泄漏时，也仅是放散出某一间隔中一个气隔内的SF_6气体，泄漏的气体量与GIS室内空气量的体积之比最多不超过0.15%，且各间隔同时发生气体泄漏事故的可能性很小。尽管GIS室内SF_6电气设备防爆膜破裂及其他原因造成气体泄漏时的通风同样称为事故通风，但不属于“突然放散大量有害气体或有爆炸危险气体的场所”，可不执行“事故通风换气次数不应小于每小时12次”的规定。

GB/T 8905—2012《六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则》中规定：“六氟化硫电器设备发生故障气体外逸时，人员应立即撤离现场，并立即采取强力通风，换气时间不得少于15min。发生事故后，任何人进入室内必须穿防护服，戴手套及防毒面具”。GB 26860—2011《电力安全工作规程　发电厂和变电站电气部分》中规定：“SF_6配电装置发生大量泄漏等紧急情况时，人员应迅速撤出现场，开启所有排风机进行排风。未佩戴防毒面具或正压式空气呼吸器人员禁止入内。只有经过充分的自然排风或强制排风，并用检漏仪测量SF_6气体合格，用仪器检测含氧量（不低于18%）合格后，人员才准进入”。

尽管各种有害物的量值无法确定，但GIS配电装置室某一间隔中最大的一个气隔内的SF_6气体量是确定的。通过工程实例，且按在15min内有效排除事故后室内的SF_6气体来计算的事故通风量，最大的事故通风换气次数为4次/h左右。

GIS配电装置室内事故发生后，有害气体外逸，分解成各种有害气体，成分复杂，但大多比空气重，聚集于房间下部，但有一种氟化氢（HF）气体比空气轻，会上升到室内上部，但又会在极短的时间内结合成稳定的SF_6分子下沉到室内下部。因此可以认为事故排风同样主要是排除室内下部的有害气体，为安全起见，也兼顾排除少部分室内上部的有害气体。因此DL/T 5035—2016规定：“平时正常时在下部排风，通风换气次数为每小时不少于4次。事故时，上下部排风系统同时运行，通风换气次数为每小时不少于6次”。这样规定后，比较便于设计人员执行，可仅按事故排风系统设计，同时也就满足了正常运行时的通风换气。至于上下部排风系统是分为两个系统还是合并成一个系统，可视各工程具体条件由设计人员灵活掌握。

因SF_6气体实验室和SF_6设备检修间仅在进行气体试验或设备检修时使用，所以规定设置间断运行的机械排风系统和事故通风系统。由于SF_6气体实验室和SF_6设备检修间的室内空间体积小，发生事故的初始时刻室内有害气体散发引起的初始时刻室内空气中有害物浓度高，这些房间的事故通风量的确定应按GB 50019—2015的规定：“事故通风量宜根据工艺设计条件通过计算确定，且换气次数不应小于每小时12次。当房间高度小于或等于6m时，应按房间实际体积计算；当房间高度大于6m时，应按6m的空间体积计算。”执行，以便尽快将有毒有害气体排出。故规定事故排风宜由经常使用的下部排风系统和上部排风系统共同保证。事故通风量应按换气次数每小时不少于12次计算。

二、SF_6电气设备室供暖与通风

（一）供暖

1. 设计原则

根据SF_6电气设备产品样本，SF_6电气设备的工作环境温度上限是+40℃，户内型的工作环境温度下限有两挡：−15℃和−25℃。温度过低，会使SF_6气体液化。

在我国高寒地区，冬季室外温度低于SF_6电气设备的温度下限时，由于GIS配电装置室空间高大，且构筑物一般采用压型钢板结构密封性差，且设备散热量小，往往会出现室内温度过低而影响设备运行。因此须设置冬季防寒设施提高室温。一般采用全新风热

风供暖系统，设备采用热水或蒸汽加热型空气处理机组。

采用全新风热风供暖系统时，GIS 室内防寒设计室内设计温度取高于 SF_6 电气设备工作环境温度下限值加 5℃。当 GIS 室内布置有电气柜时，其本身应带有柜体加热装置，一般采用电加热器。

2. 设备选型计算

冬季供暖采用全新风热风供暖系统时，按风量平衡和热量平衡进行计算，参见本章第六节。

根据风量平衡，选择空气处理机组的送风量不小于平时通风量，以减少冷风侵入耗热量。

根据热量平衡，计算出空气处理机组的送风温度。通过送风量、送风温度、进入加热器的空气温度（室外供暖计算温度）即可计算出空气处理机组加热器的加热量。

（二）通风

1. 设计原则

（1）室内空气中六氟化硫的含量不得超过 6000mg/m³。因此，设置有 SF_6 GIS 配电装置以及 SF_6 气体实验室、SF_6 设备检修室应设置机械通风和事故排风系统，室内空气不得再循环。

（2）SF_6 GIS 配电装置室应设置平时通风系统及事故通风系统，平时通风系统应按连续运行设计，其风量应按换气次数每小时不少于 4 次计算，事故排风量应按换气次数每小时不少于 6 次计算。

（3）SF_6 气体实验室和 SF_6 设备检修室应设置间断运行的机械排风系统和事故通风系统。间断运行的机械排风系统排风量应按换气次数每小时不少于 4 次计算，事故排风量应按换气次数每小时不小于 12 次计算。间断运行的机械排风系统同时兼做事故通风用。

（4）与 SF_6 电气设备室相通的地下电缆隧道（或电缆沟），应设机械排风系统。电缆隧道通风量应根据隧道内电缆发热量计算确定，夏季排风温度不宜超过 40℃，进风和排风温差不宜超过 10℃。同时排风量按换气量为不少于 4 次/h 计算确定选取大值，通风系统设计范围只计算地下电缆隧道至室外的第一道防火墙为止。

2. 通风系统设置及布置

（1）SF_6 GIS 配电装置室设置有平时通风系统及事故通风系统。SF_6 GIS 配电装置室平时通风系统的吸风口应设在室内下部，其下缘与地面距离不应大于 0.3m。

SF_6 GIS 配电装置室事故排风量宜由平时通风使用的下部排风系统和上部排风系统共同保证。

（2）当 SF_6 GIS 配电装置室内的 SF_6 浓度检测仪或氧量仪发出报警信号时，事故排风机应能自动投入运行。

（3）SF_6 气体实验室和 SF_6 设备检修室设置的间断运行的通风系统的吸风口应设在室内下部，其下缘与地面距离不应大于 0.3m。

SF_6 气体实验室和 SF_6 设备检修室事故排风量宜由间断运行的机械排风系统和上部机械排风系统共同保证。

（4）SF_6 电气设备室内的电缆隧道或电缆沟吸风口应设在电缆隧道下部，其下缘与底部距离不应大于 0.3m。

（5）GIS 配电装置室、电缆隧道只有当工作人员进入检修前才开启排风机，GIS 配电装置室和电缆隧道的排风机电源开关应设置在室外门口便于操作处。

SF_6 气体实验室和 SF_6 设备检修室平时室内有工作人员驻留。应分别在室内、外便于操作的地点设置排风机的电源开关。

（6）SF_6 电气设备室气流组织应均匀，避免气流短路和死角。排风口应接至室外并高出屋面。当排风口设在无人员停留或无人经常通行处时，可设轴流风机向室外排风，但应防止气流短路。

进风宜通过设在房间下部外墙上的防雨进风百叶窗进入。进风百叶窗底部距室外地坪距离应大于 300mm。进风百叶窗是否带过滤器，应按 GIS 设备的要求确定。进风百叶窗的进风面风速宜小于 2.5m/s。

（7）通风设备、风管及其附件应考虑防腐措施。

3. SF_6 电气设备室通风设计举例

【例 4-2】 如图 4-18 所示，为某电厂室内 GIS 室，当地室外供暖温度为−14.1℃，室内布置有 SF_6 电气设备，试设计通风系统。

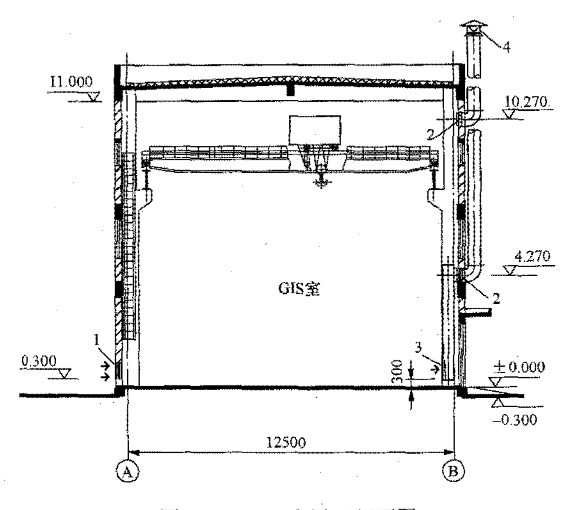


图 4-18　GIS 室通风剖面图

1—防雨百叶窗；2—排风机；3—百叶风口；4—伞形风帽

解　（1）当地室外供暖温度为−14.1℃，SF_6 电气设备选择对运行环境温度下限为室内−15℃型。

设计拟采用自然进风、机械排风的通风方案，包含平时通风系统及事故通风系统，利用铝合金百叶窗自然进风，轴流风机机械排风。

（2）房间体积计算式为

$$V=LWH$$

式中 V——房间体积，m^3；

L——房间长度，m；

W——房间宽度，m；

H——房间高度，m。

已知，L=60m，W=12.5m，H=11m。则房间体积为

$$V=LWH=60\times12.5\times11=8250\ (m^3)$$

（3）正常通风量计算式为

$$L_1=n_1V_1$$

已知 V_1=8250m^3，n_1=4h^{-1}。则正常通风量为

$$L_1=8250\times4=33000\ (m^3/h)$$

（4）事故排风量计算式为

$$L_2=n_2V_2$$

已知 V_2=8250m^3，n_2=6h^{-1}。则事故排风量为

$$L_2=8250\times6=49500\ (m^3/h)$$

（5）系统设计。GIS 室设计自然进风、机械排风系统，进风采用铝合金百叶窗，排风采用轴流风机。

根据上述计算，GIS 室正常通风时通风量为 33000m^3/h，事故排风时排风量为 49500m^3/h。设计考虑正常通风系统风机可兼做事故通风用，排风机共选用 16 台轴流风机，其中风量为 3920m^3/h 的风机 8 台，风量为 2737m^3/h 的风机 8 台，总排风量为 53256m^3/h。

如图 4-18 所示，风量为 2737m^3/h 的 8 台风机布置在 GIS 室 10.270m 高的外墙上，将室内上部空间的空气直接排至室外。风量为 3920m^3/h 的 8 台风机布置在 GIS 室 4.270m 高的外墙上，通过下部吸风口及风管将室内下部空间的空气排至室外，下排风机吸风口下缘距离地面 300mm。

正常运行时，下排的 5 台风机与上排的 6 台风机同时运行，总排风量为 36022m^3/h。

事故运行时，下排的 8 台风机与上排的 8 台风机同时运行，总排风量为 53256m^3/h。

风机应在室内、外便于操作的地点分别设置电源开关，当发生火灾时，应能自动切断通风机电源。

（6）设备选择。

1）下排风机参数如下：风量为 3920m^3/h，静压为 90Pa，转速为 1450r/min，输入功率为 380V/120W，共 8 台。

2）上排风机参数如下：风量为 2737m^3/h，静压为 71Pa，转速为 1450r/min，输入功率为 380V/90W，共 8 台。

第十三节 柴油发电机房

一、工艺简介

1. 柴油发电机组及柴油发电机房

柴油发电机组是一种小型发电设备，是指以柴油等为燃料，以柴油机为原动机驱动发电机发电的动力机械。发电厂中柴油机常采用 0 号柴油。

在发电厂中，有一些不允许断电的重要设备，例如盘车、顶轴油泵、消防泵等，他们普遍采用专用的柴油发电机组作为交流事故保安电源，常用容量为 250、500、800、1250kW，最大可至 1800kW。常用的柴油发电机按其冷却排热方式一般分为以下两种类型：机械循环式水冷却型、连机式风冷排热型。

柴油发电机组平时作为备用机组，无人值班，布置在专用的柴油发电机房内，柴油发电机房通常还配套设置独立的油箱间。

2. 柴油发电机房室内温度要求

柴油发电机组在运行过程中，机组本体冷却排热系统将带走大部分余热，但机组机体、排烟气管道及排烟气消声器还会将大量的余热散入室内。柴油发电机组允许工作环境温度一般为 5～40℃，环境温度将直接影响着柴油发电机组的实际发电功率。国产柴油发电机组的额定功率测定环境温度为 20℃，当环境温度每升高 5℃，实际发电功率将下降 3%。因此，为确保机组的效用，规定柴油发电机室机械通风系统夏季排除室内余热的排风量按夏季排风温度不超过 40℃考虑。

因此，柴油发电机房内的空气温度要求：柴油发电机室夏季室内设计温度不宜高于 40℃；为了保证柴油机的正常启动，冬季不应低于 5℃。

二、柴油发电机房供暖及通风

（一）供暖

电厂柴油发电机组一般布置在室内，为防止柴油冻结，保证柴油机的正常启动，应按维持冬季室内温度不低于 5℃要求设置供暖系统。

寒冷及严寒地区宜采用热水供暖，热媒供、回水温度宜采用 110/70℃或 95/70℃。

为满足机组冷却、机房通风及燃烧空气量，柴油发电机室外墙设置了大面积的进风百叶窗，即使在百叶窗关闭的情况下，也难免有冷空气渗透进入室内。为避免因管道冻结而影响供暖系统的正常运行，供暖系统主管道应避免经过柴油发电机室，尤其是百叶窗上部区域，柴油发电机室供暖宜设置较独立的分支系统。

集中供暖地区，柴油发电机室冬季平时通风系统

产生的热负荷宜由散热器供暖系统承担。当散热器供暖系统不能满足负荷要求时，应设置热风补偿系统。室内空气不允许再循环。

设置集中供暖的风冷型柴油发电机室，进风百叶窗应采用电动关闭型。如设有排风百叶窗，排风百叶窗也应采用电动关闭型。进、排风百叶窗启闭宜与柴油发电机的启停联锁。

设置集中供暖的风冷型柴油发电机室宜具有利用柴油发电机本体排热向室内供暖的措施。当柴油发电机本体排热由风道直接引至室外时，宜在排风管上设置可开启的室内风口或切换阀。

（二）通风

1. 柴油发电机房内余热量的计算

柴油发电机房内的余热量包括柴油机、发电机、排烟管道的散热量。

（1）柴油机的散热量可按式（4-24）计算，如数据不全，可选用表4-16和表4-17中相关数据，则

$$Q_1 = \eta_1 q P_{N1} B / 3600 \qquad (4\text{-}24)$$

式中 Q_1——柴油机的散热量，kW；

η_1——柴油机工作时的散热量系数，%，见表4-18；

q——柴油机燃料热值，取41870kJ/kg；

P_{N1}——柴油机额定功率，kW；

B——柴油机耗油率，可按0.2～0.24kg/（h·kW）选取，建议取0.23kg/（h·kW）。

（2）发电机的散热量可按式（4-25）计算，如数据不全，可选用表4-16和表4-17中相关数据

$$Q_2 = P_{N2}(1-\eta_2)/\eta_2 \qquad (4\text{-}25)$$

式中 Q_2——发电机的散热量，kW；

P_{N2}——发电机额定功率，kW；

η_2——发电效率，通常为80%～90%，具体由发电机型号确定。

表4-16　柴油机及发电机的散热量（一）

柴油机额定功率（kW）	发电机额定功率（kW）	燃烧空气量（m³/h）	散入室内热量（kW）		
			柴油机	发电机	合计
52	40	350	8.96	4.07	13.03
134	120	900	18.72	14.67	33.39
246	200	1650	27.94	27.47	55.41
328	300	2200	36.65	40.30	76.95
500	500	2976.6	—	—	94.00
800	800	3402	—	—	152.00
1200	1200	5692	—	—	175.00
1600	1600	8640	—	—	185.00
1800	1800	9360	—	—	200.00

注　1. 柴油发电机组额定功率小于或等于300kW级数据沿用参考文献［1］中数据。
2. 柴油发电机组额定功率大于或等于500kW级数据由所罗门股份有限公司提供。

表4-17　柴油机及发电机的散热量（二）

序号	柴油发电机组	柴油机			发电机			总发热量［kJ/h（kW）］	总发热量占柴油发电机功率的比率
		柴油机型号	额定功率（kW）	发热量（kJ/h）	发电机型号	额定功率（kW）	发热量（kJ/h）		
1	5GFI（1-5B）	2851	7.4	5267	T2S	5	4494	9761（2.71）	0.54
2	5GF2	1105	7.4	5392	TST	5	4494	9886（2.75）	0.55
3	12GF2	2105A-1	14.7	8352	MSA	10.8	9706	18058（5.02）	0.46
4	1-12	X-2105	17.6	11136	T2S	12	10784	21920（6.09）	0.51
5	2015F-12	210SF-1	14.7	8577	T2S	12	10784	19361（5.38）	0.45
6	24GF1	3110Y	33	20315	72-74-24	24	12891	33206（9.22）	0.38
7	30GF1	4110Y	44	24829	72-74-30	30	14718	39547（10.99）	0.37
8	J243	4115D	33	22008	72-74-24	24	12891	34899（9.69）	0.40
9	40GF1	4135D-1	59	28967	72-84-40D2/T2	40	18685	47652（13.24）	0.33
10	64GF1	4135D-1	74	44015	T2W2-50（TH）	64	57517	101532（28.20）	0.44
11	50GF1	4135D-3	59	28967	72-84-50D2/T2（DH）	50	20290	49257（13.68）	0.27
12	64GF1	6125D-3	110	44438	72-84-64D2/T2	64	24148	68586（19.05）	0.30
13	1-75Z-1	6135D-3	88	35551	72-94-75	75	29954	65505（18.20）	0.24
14	75GF2	6135D	88	35551	72-SB-75	75	29954	65505（18.20）	0.24

续表

序号	柴油发电机组	柴油机			发电机			总发热量［kJ/h（kW）］	总发热量占柴油发电机功率的比率
		柴油机型号	额定功率（kW）	发热量（kJ/h）	发电机型号	额定功率（kW）	发热量（kJ/h）		
15	75GF3	6135D	88	35551	72-94-75D2/T2	75	28299	63850（17.74）	0.24
16	120GF1	12135D	176	71102	TZT-104-120	120	40070	111172（30.88）	0.26
17	P1（1-84A）	6160A	99	41135	GD3505	84	33549	74684（20.75）	0.25
18	P8（8-120A）	6160A-9	135	54641	72-Z-TH	120	12661	67302（18.70）	0.16
19	9-160	6160A-6	184	74051	TC-118-6	160	50014	124065（34.46）	0.22
20	6250-D200KW-T	6250	220	88875	T-74-10-TH	200	71106	159981（44.44）	0.22
21	6250Z-D300KW-T	6250Z	330	116472	T300/10	300	78684	195156（54.21）	0.18

注 表中数据来自奥特赛发电机组的公开资料。

表 4-18　柴油机工作时的散热量系数

柴油机额定功率 P_{N1}		散热量系数 η_1（%）
额定功率（kW）	额定马力（Hp）	
＜37	＜50	6
37～74	50～100	5～5.5
74～220	100～300	4～4.5
＞220	＞300	3.5～4

在无法获取准确的数据时，对全封闭式机组其设备总发热量可按发电机额定功率的 30%～35%，半封闭式机组发电机按 50%进行估算。

（3）柴油发电机组保温排烟管的散热量为

$$Q_3 = q_c l / 1000 \tag{4-26}$$

$$q_c = \frac{\pi(t_y - t_n)}{1/(2\lambda) \cdot \ln(D/d) + 1/(\alpha D)} \tag{4-27}$$

式中　Q_3——保温排烟管散热量，kW；

q_c——保温排烟管单位长度散热量，W/m，可按表 4-19 取值；

l——保温排烟管在机房内架空敷设的长度，m；

t_y——保温排烟管内的烟气计算温度，一般取 300～400℃；

t_n——保温排烟管周围的空气温度，即机房内温度，取 35℃；

λ——保温排烟管保温材料导热系数，W/（m·℃）；

D——保温排烟管保温层外径，m；

d——保温排烟管外径，m；

α——保温排烟管保温层外表面的放热系数，架空敷设于机房内的排烟管，可取 8.141W/（m·℃）。

表 4-19　柴油发电机组保温排烟管单位长度散热量

排烟支管		排烟干管	
管径（mm）	散热量（kW/m）	管径（mm）	散热量（kW/m）
DN50	0.36	DN273	0.77
DN80	0.47	DN325	0.93
DN100	0.56	DN377	1.03
DN125	0.64	DN426	1.14
DN150	0.73	DN478	1.34
DN219	0.75	DN529	1.40

（4）柴油发电机房的总余热量为

$$Q_y = Q_1 + Q_2 + Q_3 \tag{4-28}$$

式中　Q_y——柴油发电机房总余热量，kW。

2. 通风量计算

柴油发电机室内的柴油发电机和日用油箱在平时和运行过程中都有少量油气及废气渗入室内，柴油机在运行过程中会通过机组不严密处溢出少量能使人中毒的 CO 和丙烯醛等有害物质。因此，发电厂的柴油发电机房应设置平时通风系统和柴油发电机运行时通风系统。平时通风系统全年连续运行，及时排除室内有害气体。运行通风系统保证柴油发电机运行时能及时排除室内余热。柴油发电机室平时通风系统通风量可按换气次数不少于 10 次/h 计算。

当油箱间单独设置时，油箱间的机械排风系统应与其他通风系统分开，其排风量应按换气次数不少于 5 次/h 计算。

（1）排除机房内余热的通风量计算式为

$$L = \frac{3600 Q_y}{c\rho(t_p - t_w)} \tag{4-29}$$

式中 L ——排除机房内余热所需通风量，m^3/h；

Q_y ——机房内余热量，kW；

c ——空气比热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

ρ ——空气密度，kg/m^3；

t_p ——机房排风温度，℃；

t_w ——夏季通风室外计算温度，℃。

（2）排除柴油发电机房内有害气体所需的通风量计算式为

$$L=\frac{3600x}{y_2-y_0} \tag{4-30}$$

式中 L ——排除机房内有害气体所需通风量，m^3/h；

x ——有害气体的散发量，g/s；

y_2——稳定状态下，室内空气中有害物允许浓度，g/m^3；

y_0——进风空气中有害物浓度，g/m^3。

有害气体的允许含量：一氧化碳为 $30mg/m^3$，丙烯醛为 $0.3mg/m^3$。当数据不全计算较困难时，也可按经验数据按柴油发电机额定功率大于或等于 $20m^3/(h\cdot kW)$ 计算通风量。

根据 GBZ1—2010 的规定，当数种溶剂（苯及其同系物，或醇类、醋酸类）的蒸汽，或数种刺激性气体（三氧化二硫及三氧化硫，或氟化氢及其盐类等），同时在室内放散时，由于他们对人体的作用是叠加的，全面通风量应按各种气体分别稀释至规定的接触限值所需空气量的总和计算。

除上述有害物质的气体及蒸汽外，柴油发电机同时还有少量其他有害物散放，全面通风量应分别计算稀释各有害物所需的风量，然后取最大值。

柴油发电机房运行通风系统通风量应按排除室内余热和有害气体分别计算，并取两项计算结果的较大值。发电机运行时排风系统可兼作平时通风用。

柴油发电机组有两种冷却方式：水冷和空冷。当柴油发电机组采用风冷方式时，柴油发电机房是通过引入室外空气，为柴油机提供燃烧空气、冷却机组本体及对机房空气进行降温。一般柴油机组本体散热排风通过管道直接排至室外，排风量主要计算排除机房余热所需通风量。柴油发电机室通风宜采用自然进风方式。当柴油发电机组采用空冷时，其进风量应包括排除室内余热的排风量、柴油机燃烧空气量以及空冷柴油发电机组本体的排热风量。其中柴油机燃烧空气量应根据机组实际参数经过计算确定，当缺少机组相关的计算参数时，可按柴油发电机组额定功率取经验数据 $7m^3/(h\cdot kW)$ 计算。

当柴油发电机组采用水冷方式时，机组本体散热量将由冷却水系统排至室外，其进风量应包括室内排风机的排风量以及柴油机燃烧所需风量之和。

3. 通风系统设计

（1）柴油发电机室、油箱间通风宜采用自然进风、机械排风的通风方式。

（2）柴油发电机室、油箱间的通风机和电动百叶窗的电动机及电动执行机构均应为防爆型。电动机应直接连接，并应采用保安电源作为备用电源。

第十四节 变 频 器 室

一、工艺简介

（一）概述

1. 变频器的工作原理

变频器是通过控制频率来调节转速和输出功率，是建立在电力电子技术的基础上，通过大功率电力电子元件进行整流，然后再逆变为所要求频率的交流电。

变频器基本构成如图 4-19 所示，由整流器、逆变器、中间直流环节和控制电路等组成。

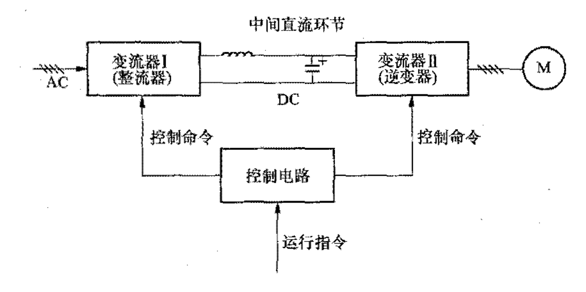


图 4-19 变频器的基本构成框图

2. 变频器的分类

根据不同的分类方式，变频器有不同的类型，主要为以下几种：

（1）按主电路工作方法分类：①电压型变频器；②电流型变频器。

（2）按电压等级分类：①高压变频器：3、6、10kV；②中压变频器：660、1140V；③低压变频器：220、380V。

（3）按电压性质分类：①交流变频器：AC-DC-AC（交-直-交）、AC-AC（交-交）；②直流变频器：DC-AC（直-交）。

（4）按变频器调压方法分类：①PAM 变频器，是通过改变电压源 U_d 或电流源 I_d 的幅值进行输出控制的。②WM 变频器，是在变频器输出波形的一个周期产生多个脉冲波，其等值电压为正弦波，波形较平滑。

（5）按工作原理分类：①U/f 控制（VVVF 控制）变频器；②SF 控制（转差频率控制）变频器；③VC

控制（矢量控制）变频器。近年来又发展了更先进的直接转矩控制方式。

3. 变频器在电厂应用情况

在火力发电厂中，凝结水泵、锅炉一次风机、循环水泵、空冷岛风机等设备电动机普遍采用变频调节。空冷岛风机所用变频器属低压变频器，其余均属高压变频器。

功率较小的变频器一般采用散热器（板）散热，功率较大的变频器都采用散热器加冷却风机的方式解决变频器的散热问题，额定功率大于 1500kW 时，部分变频器采用水冷方式散热。

变频器屏柜通常由旁路柜、变压器柜、功率柜及控制柜一起组装在变频器室内（如图 4-20 所示），靠近被控制的设备布置。如凝结水泵变频器室就近布置在汽机房内凝结水泵附近，一次风机变频器室就近布置在锅炉房一次风机附近。

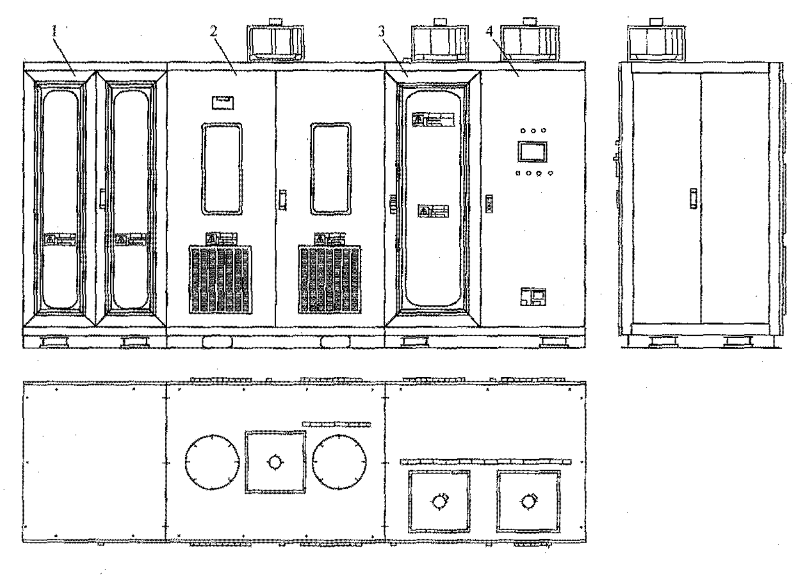


图 4-20　变频器柜外形示意图

1—旁路柜；2—变压器柜；3—功率柜；4—控制柜

(二) 对环境的要求

在 GB/T 12668.2—2002《调速电气传动系统　第 2 部分：一般要求　低压交流变频电气传动系统额定值的规定》和 GB/T 12668.4—2006《调速电气传动系统　第 4 部分：一般要求　交流电压 1000V 以上但不超过 35kV 的交流调速电气传动系统额定值的规定》中，均对变频器的环境使用条件做出规定：环境温度：5～40℃；相对湿度：5%～85%，无凝露。为保证设备安全运行，将夏季室内设计温度设定为不宜高于 35℃，冬季室内环境温度不应低于 5℃。并要求室内保持洁净。

二、变频器室供暖与通风

(一) 供暖

严寒地区和寒冷地区的变频器室，当有外墙时，宜设置冬季供暖设施，可采用热风、电暖器供暖，以维持室内温度为 5℃，供暖负荷计算时不考虑室内设备散热量。当采用热水或蒸汽为热媒的热风供暖时，加热机组应布置在变频器室外，供暖系统管道不得进入变频器室房间内。

严寒地区和寒冷地区的变频器室应考虑冬季利用变频器散热循环来维持室内温度的措施。

变频器柜本体排热可采取设排风罩的方式，以便冬季风机关停时，变频器的排热直接散入室内。当柜体排热由风道直接引至室外时，宜在排风管上设置可关闭的室内风口，或切换阀。

(二) 通风

1. 设计原则

（1）当变频器室采用自然进风、机械排风方式或者机械进风、机械排风方式能够满足室内温度要求时，宜设置风管将变频器柜体排风直接排至室外。若变频器柜体自带排风机的余压不足，则宜设排风罩，通过排风机将变频器柜热风排至室外，变频器柜散入室内的热量及其他得热量由其他排风机排出。

（2）当直接采用室外新风进行直流式通风不能满足室内温度要求时，应根据进风条件、夏季室外气象条件设计降温通风系统，还宜结合变频器室周围空间，选择合适的降温通风设备。

（3）当变频器室采用全淹没气体灭火系统时，通风系统的设置应符合下列要求：

1）当用于排除室内设备散热的通风系统兼做灭火后通风换气用时，宜设置可自动切换的上、下部室内吸风口，排风应直通室外。当灭火后排风系统独立设置时，室内吸风口宜设置在下部，排风应直通室外。

2）通风管道穿越围护结构处应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀。排风系统的吸风管段应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀，或者吸风口采用具有电动关闭功能的防火风口。百叶窗应具有电动快关的功能。

3）电动快关型风阀及电动快关型百叶窗的控制电缆应实施耐火防护或选用具有耐火性能的电缆。

4）当变频器室发生火灾时，在消防系统喷放灭火气体前，防火阀、防火风口、电动风阀及百叶窗应能自动关闭。

（4）变频器室通风系统的设备宜设置两台或两台以上同型号排风机设备。

2. 负荷计算

变频器室降温通风的冷负荷，应按照排除室内电气设备散热量与围护结构得热量来确定。当室内环境与外部环境温差小于或等于5℃时，可仅按排除室内电气设备散热量计算。

变频器的设备散热量应按照生产厂家提供的数据确定。当无确定的数据时，可参考表 4-20 及表 4-21 数据进行估算。

表 4-20　　低压变频器散热功率损耗

变频器型号	电动机额定功率（kW）	功率损耗（W）	冷却风量（m^3/h）
ACS510-03A3-4	1.1	40	44
ACS510-04A1-4	1.5	52	44
ACS510-05A6-4	2.2	73	44
ACS510-07A2-4	3	97	44
ACS510-09A4-4	4	127	44
ACS510-012A-4	5.5	172	44
ACS510-017A-4	7.5	232	88
ACS510-025A-4	11	337	88
ACS510-031A-4	15	457	134
ACS510-038A-4	18.5	562	134
ACS510-045A-4	22	667	280
ACS510-060A-4	30	907	280
ACS510-072A-4	37	1120	280
ACS510-096A-4	45	1440	168

续表

变频器型号	电动机额定功率（kW）	功率损耗（W）	冷却风量（m^3/h）
ACS510-0124A-4	55	1940	405
ACS510-0157A-4	75	2310	405
ACS510-0180A-4	90	2810	405
ACS510-0195A-4	110	3050	405

注　本表为 ABB 公司 ACS510 系列低压变频器的设备散热功率损耗表，变频器采用强迫风冷的冷却方式。

表 4-21　　中压变频器散热功率损耗

变频器系列	电压等级（kV）	功率范围（kW）	功率损耗（%）
ACS1000	2.3、3.3、4.0	315～1600（风冷）	≤2
ACS5000	6.0、6.6、6.9	2000～7000（风冷）	≤1.5

注　1. 本表为 ABB 公司 ACS1000 和 ACS5000 系列中压变频器散热功率损耗表，变频器采用强迫风冷的冷却方式。

2. ABB 公司 AS1000 和 ACS5000 系列中压变频器不含内置变压器。当采用其他公司的含内置变压器的变频器时，变压器功率损耗应单独计算。

变频器散热量与运行工况有关，一般为额定功率的 2%～4%，最大散热量为变频器额定功率的 4%，如果长期运行频率低于 40Hz，则散热量可按照变频器额定功率的 2%进行估算。

3. 通风量的计算

变频器柜体热风全部排入室内时，变频器室降温通风计算参见本章第五节；变频器柜体排风直接引至室外时，可按风量平衡和热量平衡进行计算，参见本章第六节。

4. 通风系统布置

（1）变频器额定功率较大时，变频器采用空-水冷冷却方式，变频器厂家将为变频器配套设置一套冷却装置，如图 4-21 所示。

1）变频器采用空-水冷冷却方式时，变频器室宜采用自然进风、机械排风方式，进风宜过滤，如图 4-22 所示。

2）当采用机械通风系统不能满足变频器对室内温度的要求时，可采取降温措施。降温通风常见的空气处理方式有表冷式、水蒸发冷却式、制冷剂直接膨胀蒸发式等，工程应用中应结合室外空气的比焓、温度及相对湿度特性、水资源条件及工程实际冷热源方案等确定，优先考虑采用天然冷源及水蒸发冷却方式进行空气处理。

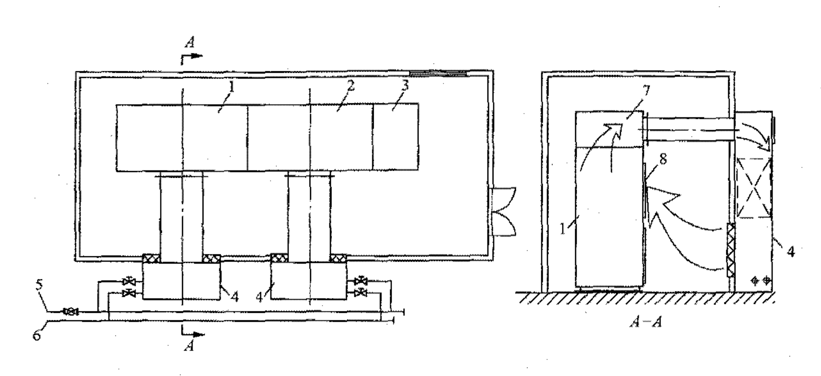


图 4-21　高压变频器室空-水冷系统示意图

1—变压器柜；2—功率柜；3—控制柜；4—空冷装置；5—进水管；6—出水管；7—变频器柜顶风帽；8—变频通风滤网

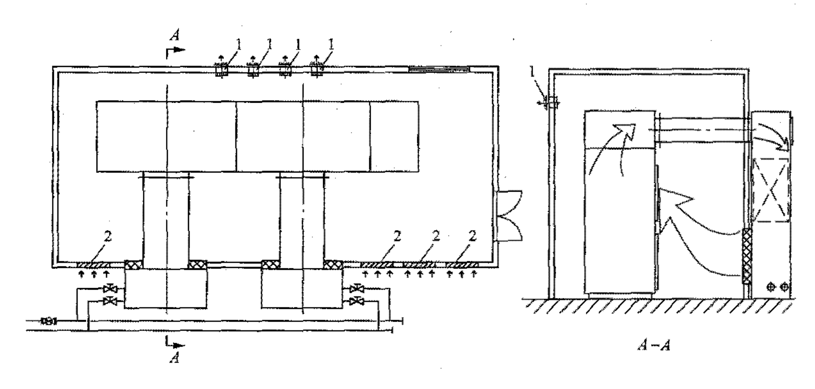


图 4-22　空-水冷高压变频器室自然进风、机械排风布置图

1—排风机；2—百叶窗

当工程设有集中冷源，变频器室附近空间合适，可采用空气处理机组为变频器室降温，如图 4-23 所示。

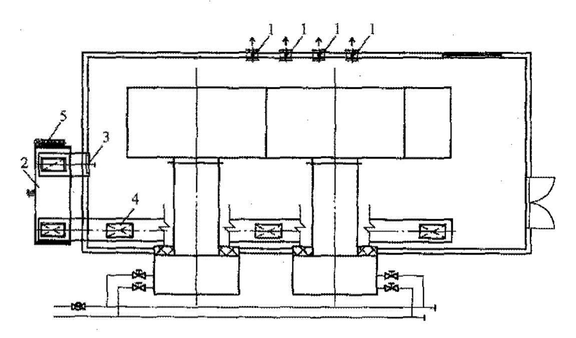


图 4-23　空-水冷变频器室降温通风布置图（一）

1—排风机；2—空气处理机组；3—回风口；4—送风口；5—新风口

当工程所在地气象条件满足采用直接蒸发冷却方式，且水资源充足，变频器室附近空间合适，可采用水蒸发冷却式机组为变频器室降温，如图 4-24 所示。

当变频器采用空-水冷冷却方式时，散热室内的热量相对较小，当工程无冷源提供，且受水资源、设备布置空间等条件的制约，可采用风冷分体式空调为变频器室降温，如图 4-25 所示。

（2）变频器采用空冷方式时，变频器室通风系统设计原则。

1）当气候环境洁净，且夏季气候凉爽时，变频器室可以采用自然进风、机械排风方式。宜采用风管将变频器柜体排风直接排至室外，但须注意变频器柜体排热风机应有足够的余压。

当变频器柜体排热风机余压足够时，可直接在柜体上连接排风管将空气排至室外，如图 4-26 所示。

当变频器柜体排热风机余压不足时，宜设排风罩，通过排风机将变频器柜热风排至室外，如图 4-27 所示。

2）对于周边环境较差、粉尘污染严重的地区，夏季气候凉爽时，变频器室可以采用机械进风、机械排风方式。同样宜采用风管将变频器柜体排风直接排至室外。应使室内保持一定的正压，送风应过滤。

3）当周围环境洁净，降温通风方案可选择如下两种：

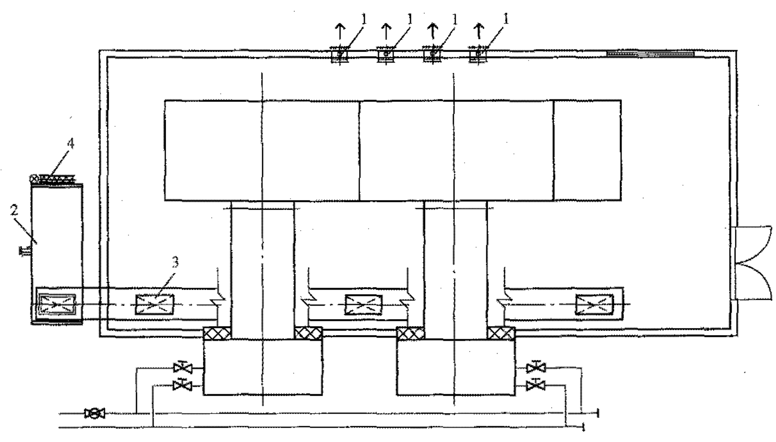


图 4-24　空-水冷变频器室降温通风布置图（二）

1—排风机；2—水蒸发式空气处理机组；3—送风口；4—新风口

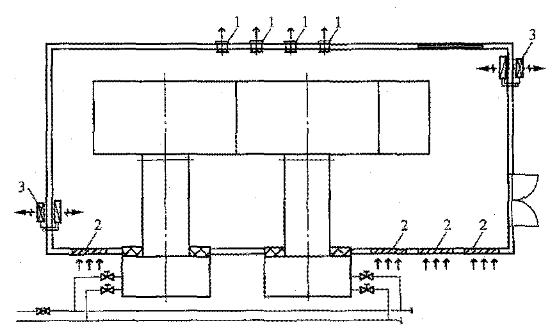


图 4-25　空-水冷变频器室降温通风布置图（三）

1—排风机；2—百叶窗；3—风冷分体式空调

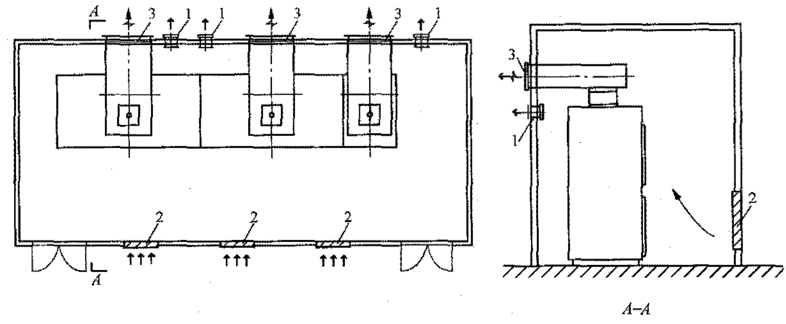


图 4-26　空冷变频器室自然进风、机械排风布置图（无排风罩）

1—排风机；2—百叶窗；3—排风口

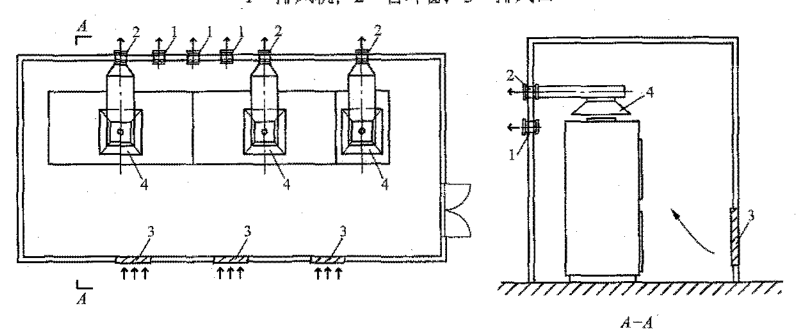


图 4-27　空冷变频器室自然进风、机械排风布置图（有排风罩）

1—排风机；2—排风罩风机；3—百叶窗；4—排风罩

a. 夏季炎热潮湿地区，经计算夏季变频器柜体排风比焓低于室外空气比焓，不适合采用直流式降温通风方式时，降温通风设备可采用空气处理机，降温通风系统宜设计成循环风运行方式。并设自然进风、机械排风系统，以便凉爽季节节能运行。如图 4-28 所示。

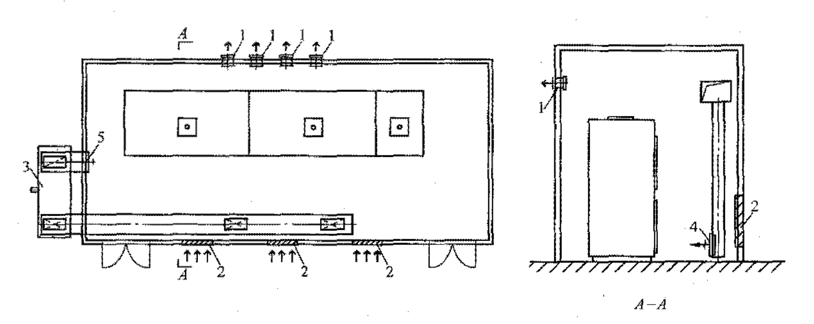


图 4-28 空冷变频器室降温通风布置图（循环式）

1—排风机；2—百叶窗；3—空气处理机组；4—送风口；5—回风口

b. 夏季干热地区，经计算夏季变频器柜体排风比焓高于室外空气比焓，适合采用直流式降温通风方式时，降温通风设备宜优先采用水蒸发式空气处理机组，或采用以冷水为冷媒的空气处理机组，排风由变频器柜体排热通风系统和房间排热风机共同保证。如图 4-29、图 4-30 所示。

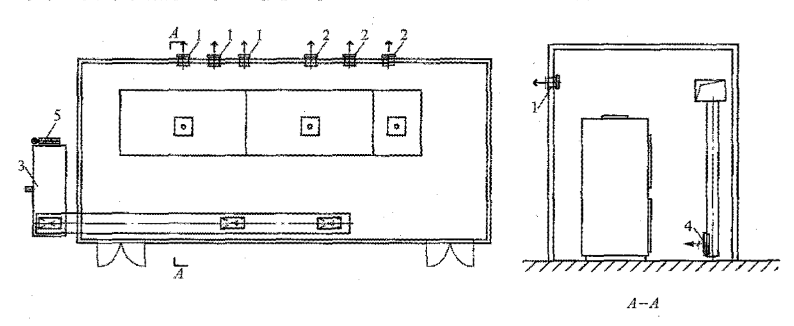


图 4-29 空冷变频器室降温通风布置图（直流式一）

1—房间排风机；2—排热风机；3—水蒸发式空气处理机组或以冷水为冷媒的空气处理机组；4—送风口；5—新风口

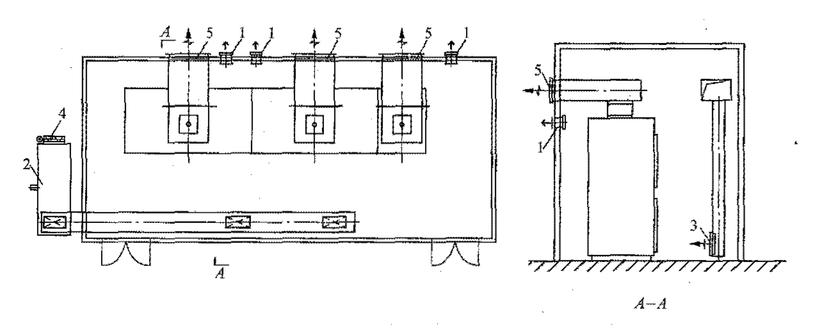


图 4-30 空冷变频器室降温通风布置图（直流式二）

1—房间排风机；2—水蒸发式空气处理机组或以冷水为冷媒的空气处理机组；3—送风口；4—新风口；5—柜体排风口

4）电厂位于多沙尘气候地区或周围环境条件较差时，为防止灰尘渗入，室内应保证正压，进风应过滤。降温通风方案可选择如下两种：

a. 夏季炎热潮湿地区，经计算夏季变频器柜体排风比焓低于室外空气比焓时，降温通风设备可采用组合式空气处理机组，系统设计成可全新风或循环风运行方式：夏季降温通风投运时，采用室内循环风方式，室内正压采取调节新/回风量来保证；凉爽季节，则采取全新风工况运行，排风设备可采用轴流风机机械排风，进风量比排风量大 10%以上，以确保室内正压值。如图 4-31 所示。

b. 夏季干热地区，经计算夏季变频器柜体排风比

焓高于室外空气比焓，适合采用直流式降温通风方式时，降温通风设备宜优先采用水蒸发式空气处理机组，或采用以冷水为冷媒的空气处理机组，排风由变频器柜体排热通风系统和房间排热风机共同保证，进风量比排风量大10%以上，以确保室内正压值。如图4-32、图4-33所示。

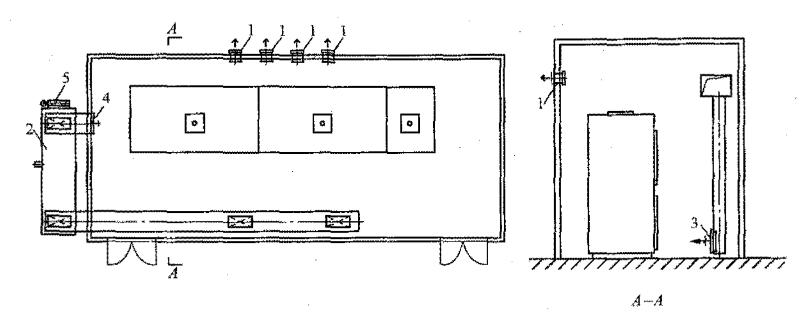


图4-31　空冷变频器室降温通风布置图（回风式）

1—排风机；2—组合式空气处理机组；3—送风口；4—回风口；5—新风口

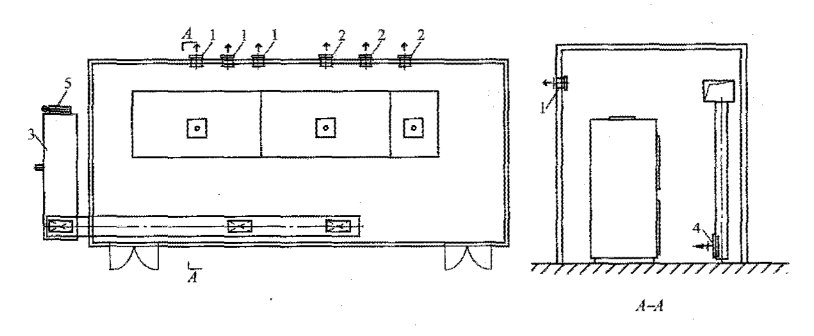


图4-32　空冷变频器室降温通风布置图（直流式三）

1—房间排风机；2—排热风机；3—水蒸发式空气处理机组或以冷水为冷媒的空气处理机组；4—送风口；5—新风口

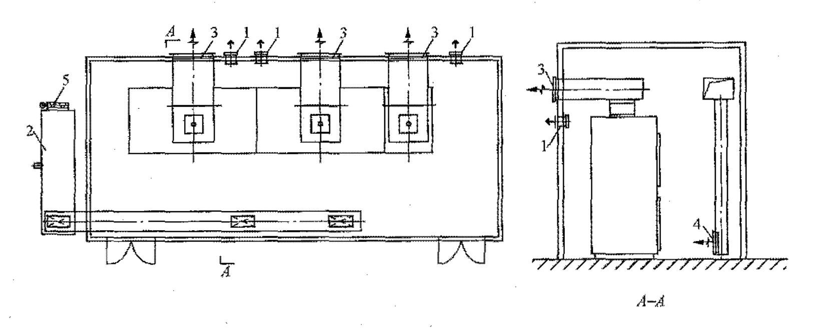


图4-33　空冷变频器室降温通风布置图（直流式四）

1—房间排风机；2—水蒸发式空气处理机组或以冷水为冷媒的空气处理机组；3—柜体排热风口；4—送风口；5—新风口

第十五节　等离子点火装置配电室

一、工艺简介

1. 等离子点火装置及其配电室

等离子点火是通过等离子发生器产生 $T>5000\mathrm{K}$ 的高温等离子体射流直接点燃煤粉的煤粉炉点火新技术，可实现煤粉炉无油点火和低负荷稳燃，目前已普遍应用于50～1000MW机组的各种贫煤、烟煤、褐煤锅炉。等离子发生器产生高温等离子体射流的原理：直流电流在等离子载体空气中接触引弧，并在强磁场控制下获得稳定功率的定向流动空气等离子体。

等离子点火装置一般配有专用的配电室，每台炉设置一个。配电室内一般布置有开关柜、2～3台干式变压器（1台备用）以及总容量对应的隔离变压器，此外还布置了将三相380V电源整流成直流，用于产生等离子体的直流电源柜（含整流装置）。单台干式变压器的容量一般为1000～1600kV·A，单台隔离变压

器容量一般为 200kV·A。

2. 等离子点火装置配电室的环境要求

等离子点火装置配电室主要布置了开关柜、干式变压器、隔离变压器以及直流电源柜。根据这些设备的运行环境要求，等离子点火装置配电室的环境温度要求为-5～40℃，并保持室内空气洁净。

二、等离子点火装置配电室供暖与通风

1. 供暖

等离子点火装置配电室一般布置在锅炉房内，因此冬季无需供暖。

2. 通风

（1）等离子点火装置配电室主要布置了干式变压器、隔离变压器以及直流电源柜等大散热量设备，散热点过于集中会形成局部区域温度过高。因此，夏季通风室内设计温度不宜高于 35℃。

（2）计算通风负荷时，电气设备的散热量应由该设备制造厂商提供，当设备制造厂商不能提供确切的散热量时，对开关柜按每面 250～350W 考虑，干式变压器和隔离变压器散热量的取值和计算方法见参本章第四节相关内容，直流电源柜可按照本章第六节中电源柜（含整流装置）散热量的取值和计算方法确定。

（3）等离子点火装置配电室一般布置在锅炉区域，不应采用负压通风，进风应过滤。

（4）等离子点火装置配电室内的干式变压器、隔离变压器以及直流电源柜等均为大散热量设备，数量多而且很集中，室内热强度高，同时等离子点火装置配电室只在锅炉点火及稳燃期间使用，运行时间短，通风系统应高效且简单、维护工作量小。宜设计分体式空调或表冷式空气处理机组（主厂房集中制冷方案时）对室内进行降温。

（5）等离子点火装置配电室的通风计算和系统布置可参考本章第五节配电室的通风设计。

（6）由于等离子点火装置仅在锅炉点火启动及稳燃阶段运行，运行时间短，当主厂房采用集中制冷方案时，其降温通风冷负荷可不计入冷水机组选型时的总负荷。

第五章

运煤建筑供暖通风与粉尘控制

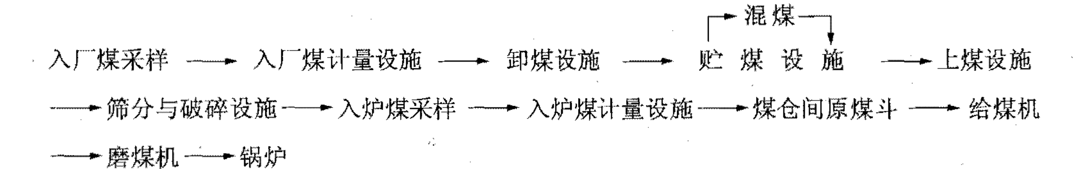
第一节　运煤系统及通风、粉尘控制

运煤系统是燃煤火力发电厂的重要组成部分，担负着为发电厂运行供应“食粮”的重任。发电厂运煤系统主要由卸煤、储煤、输送、筛碎和辅助设施（如采样、计量、除铁、水冲洗、煤场喷洒等）组成。

一、燃煤电厂运煤系统的工艺流程

1. 煤粉锅炉

采用煤粉锅炉的发电厂，其燃料的工作流程如下：



经过碎煤机破碎后的燃煤粒度一般要求不大于30mm。给煤机经磨煤机至锅炉部分，煤粉处于完全封闭的输送状态。某采用煤粉锅炉 4×600MW 燃煤电厂运煤系统流程图如图 5-1 所示。

2. 循环流化床锅炉

采用循环流化床锅炉的电厂，循环流化床锅炉在运行过程中需要在炉膛内加入石灰石等脱硫剂，在燃烧固体燃料的同时，燃烧产生的 SO_x 与脱硫剂反应，实现炉内脱硫。因此，采用循环流化床锅炉的电厂包括燃料和脱硫剂两个物料输送系统，其燃料的工作流程如下：

入厂煤采样 → 入厂煤计量设施 → 卸煤设施 → 贮煤、混煤设施 → 上煤设施
→ 一级筛分与破碎设施 → 二级筛分与破碎设施 → 入炉煤采样 → 入炉煤计量设施
→ 煤仓间原煤斗 → 给煤机 → 锅炉

脱硫剂（石灰石）一般采用石灰石原料破碎加工，或者直接采购加工好的成品石灰石粉，由仓泵送入石灰石粉仓或锅炉，石灰石的工作流程如下：

粉仓
卸料设施 → 贮料设施 → 上料设施 → 破碎设施 → 石灰石粉斗 → 仓泵输送 → 锅炉
成品石灰石粉

根据循环流化床锅炉对入炉煤粒度的要求，经过筛分和破碎后，一般要求燃煤粒度在 10mm 以下。

二、运煤系统工艺设施简介

1. 煤计量设施

煤的计量设施包括轨道衡、翻车机衡、汽车衡、电子秤等。轨道衡用于火车来煤，汽车衡用于汽车来煤，电子秤用于皮带运煤称重。

2. 卸煤设施

（1）铁路来煤时，常用的运煤车辆为通用敞车式和底开自卸式，采用通用敞车式车辆运煤时，一般采用翻车机卸煤，翻车机下部设锥形受煤斗或缝式煤

槽，并配备相应的给煤设备；采用底开自卸式车辆运煤时，采用缝式煤槽卸煤装置。除此之外，采用通用敞车式车辆的火车来煤，也有采用螺旋卸车机、斗链卸车机和抓斗类卸车机卸车的方式。

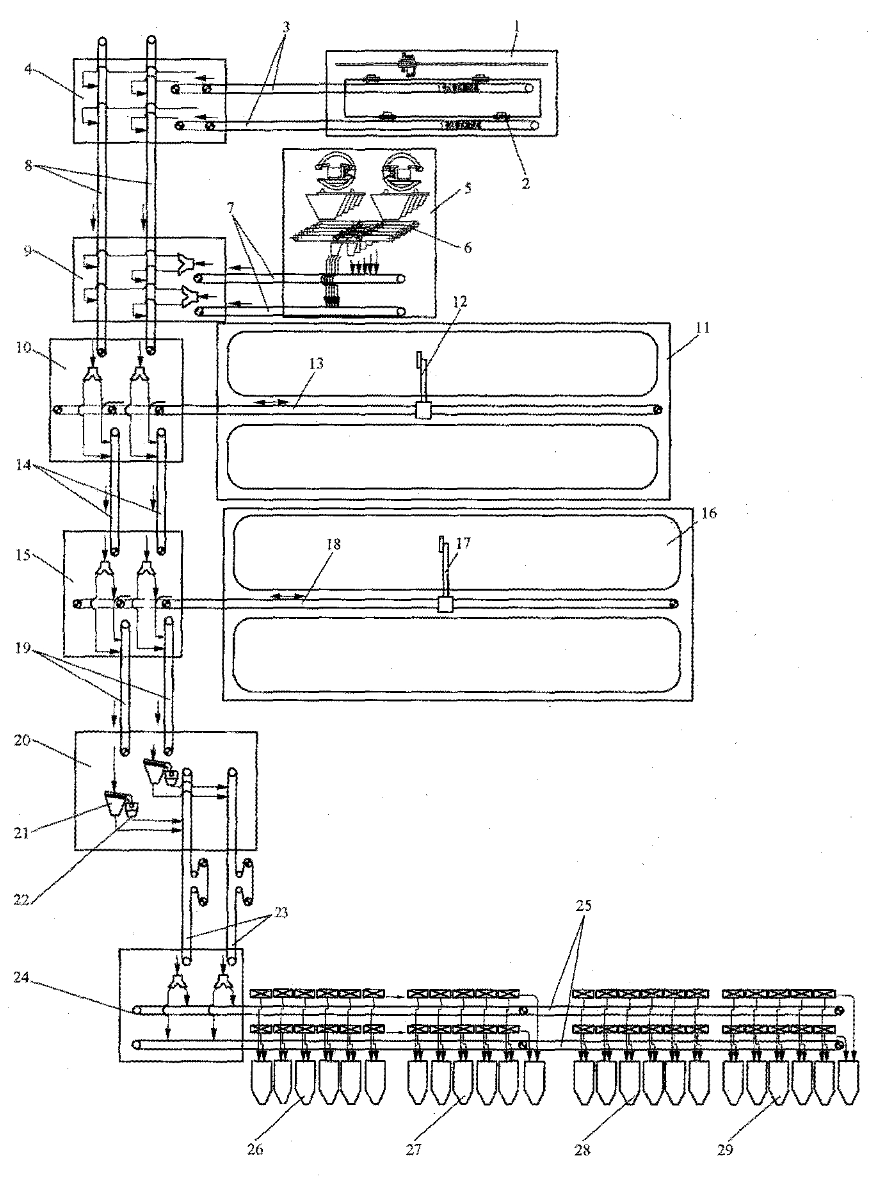


图 5-1　运煤系统流程图

1—汽车卸煤沟；2—叶轮给煤机；3—1 号带式输送机；4—1 号转运站；5—双车翻车机室；6—移动式皮带给煤机；7—2 号带式输送机；8—3 号带式输送机；9—2 号转运站；10—3 号转运站；11—1 号封闭煤场；12—1 号斗轮堆取料机；13—4 号带式输送机；14—5 号带式输送机；15—4 号转运站；16—2 号封闭煤场；17—2 号斗轮堆取料机；18—6 号带式输送机；19—7 号带式输送机；20—碎煤机室；21—滚轴筛；22—碎煤机；23—8 号带式输送机；24—煤仓间转运站；25—9 号带式输送机；26—1 号炉原煤仓；27—2 号炉原煤仓；28—3 号炉原煤仓；29—4 号炉原煤仓

（2）水运来煤时，一般采用桥式抓斗卸船机和连续式卸船机卸煤。

（3）公路来煤时，大中型电厂一般要设置专门的汽车来煤受煤站，采用缝式煤槽卸煤装置或多个串联布置的大型受煤斗受煤。

3．储煤设施

储煤设施按封闭方式分为露天堆场和封闭式储煤场两类，露天堆场以条形煤场和圆形煤场为主，封闭式储煤场包括条形封闭煤场、圆形封闭煤场、筒仓以及球形煤场等。条形封闭煤场根据封闭结构的不同分

为钢网架式、气膜式等。

4. 输送设施

燃煤输送设施包括带式输送机及其驱动装置。除常见的带式输送机外，曲线带式输送机、管状带式输送机、垂直提升带式输送机和气垫带式输送机在一些工程中也得到应用。

5. 筛碎设施

筛分和碎煤设施包括各种煤筛及碎煤机，布置在碎煤机室中。

6. 原煤仓

采用煤粉锅炉的电厂，有前煤仓和侧煤仓两个布置方案，前煤仓方案是将带式输送机层、原煤仓和磨煤机自上而下布置在汽机房和锅炉房之间的煤仓框架内；侧煤仓方案是将皮带层、原煤仓和磨煤机布置在两台锅炉之间的煤仓框架内。

采用循环流化床锅炉的电厂，一般采用前煤仓布置方案，每台炉一般配置 1 个床料仓。床料是流化床锅炉在启动时所必需的介质，以建立物料循环，一般采用流化床锅炉烧完后排放的灰渣或者河砂。床料通过设在二级筛碎设施之后的移动式给料机，通过输送燃料的带式输送机将床料输送至床料仓，再通过给煤机输送到锅炉内。

三、煤尘的主要特性

（一）游离 SiO_2 含量

粉尘的化学成分基本上与产生这种粉尘的物料所具有的化学成分相同。通常煤尘中的游离 SiO_2 含量稍微低于原料中的含量值，对燃煤电厂而言，煤尘的游离 SiO_2 含量完全可认为就是煤质分析资料中煤的游离 SiO_2 含量。

大部分发电厂的燃煤中，其游离 SiO_2 含量都在10%以下，对一些循环流化床锅炉的电厂，由于掺烧了煤矸石等劣质燃料，游离 SiO_2 含量可能会超过10%。

（二）外在水分

在煤质分析资料中，都会给出燃用煤种的全水分 M_t 和空气干燥基水分 M_{ad}。煤的全水分包括内在水分和外在水分，外在水分也就是表面水分，它在煤尘产生、迁移、降落和除尘过程中具有决定性的意义。

燃煤中的水分按存在形态的不同可分为两类，即游离水和化合水。游离水是以物理状态吸附在煤的颗粒内部毛细管中和附着在煤颗粒表面的水分；化合水也称为结晶水，是以化合的方式同煤中矿物质结合的水分，如硫酸钙（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）和高岭土（$AL_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$）中的结晶水。游离水在 105～110℃的温度下经过 1～2h 可以蒸发掉，而结晶水通常要在200℃以上才能分解析出。

外在水分 M_f 是评价燃煤扬尘特性的重要指标，可依据外在水分的变化趋势初步判断扬尘的严重程度。M_f 与 M_t 和 M_{ad} 的关系式为

$$M_f = \frac{M_t - M_{ad}}{1 - M_{ad}} \times 100\% \tag{5-1}$$

式中，M_f、M_t 和 M_{ad} 均用百分数表示。

物料的外在水分是影响扬尘的主要因素。根据对煤尘扬尘的试验研究，在煤尘外在水分等于 7%时，是扬尘量的一个转折点。外在水分大于 7%时，扬尘量迅速下降；在 10%时，可视性煤尘基本不会产生；在外在水分达到 13%时，基本没有煤尘产生。

煤尘的外在水分可以近似地等同于原煤的外在水分，煤尘外在水分可以作为运煤系统粉尘控制设计的重要指标，对粉尘污染预测、完善和强化除尘设计措施起到指引作用。

煤尘的扬尘程度与外在水分之间的关系可从表 5-1 中得到基本判断。

表 5-1　煤尘的扬尘程度与外在水分之间的关系

外在水分	＜3%	3%～4%	4%～5%	5%～7%	＞7%
扬尘程度	极其严重	非常严重	严重	重污染	中度污染

入炉煤的外在水分是正确表征在输送过程中煤质水分特性的一个状态参数，在工程设计初期，煤质资料中的水分仅可以作为一个参考数据。

（三）粉尘粒径

粉尘是由不同粒径的尘粒组成的颗粒群，其形状大多数是不规则的，只有少数呈球状。球状粉尘的粒径即是其直径，对大多数的非球形粉尘，其粒径根据不同的定义方法得出的粒径是不同的，因此，粉尘的粒径实际上是表示粉尘粒径的一种特征尺寸。

因粉尘粒径的大小、组成比例的不同，引起的粉尘产生规律和捕集措施也不同，对工作场所运行人员的危害程度也不同。单一尘粒的粒径定义方法很多，以物理当量粒径最为常见。物理当量粒径包括斯托克斯粒径和空气动力学粒径，另外分割粒径 D_{c50} 在表征除尘器性能时是很有代表性的粒径，表示某除尘器分级效率为 50%时的粒径。

1. 斯托克斯粒径

斯托克斯（Stokes）粒径指与被测尘粒密度相同、沉降速度相同的球形粒子直径。当尘粒沉降的雷诺数 $Re \leqslant 1$ 时，即在层流状态下，斯托克斯粒径计算式为

$$D_s = \sqrt{\frac{18\mu v}{(\rho_d - \rho_a)g}} \tag{5-2}$$

式中　D_s——斯托克斯粒径，m；

μ——空气动力黏度，Pa・s；

v——颗粒的沉降速度，m/s；

ρ_d、ρ_a——尘粒、空气密度，kg/m^3；

g——重力加速度，m/s^2。

2. 空气动力学粒径

空气动力学粒径 D_a 是指在静止的空气中，与密度为 $1g/cm^3$ 的球形尘粒具有相同沉降速度的球形尘粒直径。

空气动力学粒径 D_a 与斯托克斯粒径 D_s 两者的关系式

$$D_a = D_s\sqrt{\rho_d - \rho_a} \tag{5-3}$$

因为尘粒的质量密度 ρ_d 远远大于 ρ_a，式（5-3）可简化为

$$D_a = D_s\sqrt{\rho_d} \tag{5-4}$$

（四）粉尘的粒度分布

粉尘的粒度分布也称为分散度，包括数量粒度分布和质量粒度分布两种。在粉尘防治技术中多采用质量粒度分布，即某个粒径或者某粒径范围的粉尘占总粉尘的质量比例。

粒度分布和扬尘点的产尘因素密切相关，除粉尘自身的因素以外，粒度分布主要和产尘量相关联。对不存在诱导风和挤压排风的运煤系统作业环节，如斗轮机堆取料、皮带载料运行等稳定连续的作业，产尘量主要受外在风速的影响和载料量有关。对转运站而言，不同的转载点落差、落料管角度和料流量在导料槽中形成的起尘量也不同。在不同产尘量的条件下，粉尘的质量粒度分布差距很大。

电厂中处于非露天作业场所的扬尘，其粉尘粒度分布可参考表 5-2 提供的数据。

表 5-2　煤尘和石灰石粉尘的粒度分布　（%）

粉尘种类	粒度范围（μm）					
	0～5	5～10	10～20	20～40	40～60	＞60
煤尘	2.0	2.0	7.8	50.1	23.4	16.7
石灰石粉尘	1.7	1.7	1.7	53.2	24.8	20.3

（五）粉尘密度

粉尘密度分为真密度和堆密度。真密度指粉尘在绝对密实的状态下单位体积粉尘的实际质量，即去除内部孔隙或者颗粒间的空隙后的密度。

对除尘设备的选择不仅要考虑粉尘的粒径大小，还要考虑其真密度。例如，颗粒大、真密度大的粉尘可以采用沉降室和旋风除尘器，对真密度小的粉尘，即使颗粒大，也不宜采用此类除尘装置。

粉尘在自然堆积状态时单位体积粉尘的质量称为堆密度。在除尘设备设计中如灰斗的设计就是采用粉尘的堆密度。

（六）粉尘安息角

将粉尘自然地堆放在水平面上，堆积成圆锥体的锥底角称为粉尘安息角。粉尘安息角也称为粉尘休止角、粉尘堆积角，一般为 35°～55°。将粉尘置于光滑的平板上，使平板倾斜到粉尘开始滑动时的角度，称为粉尘滑动角，一般为 30°～40°。粉尘安息角和粉尘滑动角是评价粉尘流动特性的一个重要指标。它们与粉尘粒径、含水率、尘粒形状、尘粒表面光滑程度、粉尘黏附性等因素有关，是设计除尘器灰斗或料仓锥度、除尘管道或输灰管道斜度的主要依据。

（七）粉尘湿润性

粉尘颗粒被水（或其他液体）湿润的难易程度称为粉尘湿润性。有的粉尘（如锅炉飞灰、石英砂等）容易被水湿润，与水接触后会发生凝并、增重，有利于粉尘从气流中分离，这种粉尘称为亲水性粉尘。有的粉尘（如炭黑、石墨等）很难被水湿润，这类粉尘称为憎水性粉尘。

粉尘的湿润性是选择除尘方式的主要依据之一。例如，用湿式除尘器处理憎水性粉尘，除尘效率不高。如果在水中加入某些湿润剂（如皂角素等），可减少固体与液体之间的表面张力，提高粉尘的湿润性，从而达到提高除尘效率的目的。

（八）粉尘比电阻

面积为 $1cm^2$、厚度为 1cm 的粉尘层所具有的电阻值称为粉尘比电阻。其单位为 Ω·cm。粉尘比电阻对电除尘器的工作有很大影响，最有利于静电捕集的粉尘比电阻范围为 1×10^4～5×10^{10}Ω·cm。当粉尘比电阻不利于电除尘器捕尘时，需要采取措施来调节粉尘比电阻，使其处于适于电捕集的范围。在工业中经常遇到比电阻高于 5×10^{10}Ω·cm 的粉尘，称为高比电阻粉尘，为了扩大电除尘器的使用范围，可采取喷雾增湿、调节温度或加入导电添加剂（如三氧化硫、氨）等措施来降低粉尘比电阻。

粉尘比电阻与组成粉尘的各种成分的电阻有关，同时，与粉尘的粒径、分散度、湿度、温度、空隙率以及空隙气体的导电性有关。对粉尘比电阻在 1×10^4～5×10^{10}Ω·cm 范围的粉尘，采用电除尘器收尘能达到理想的效果，而粉尘比电阻小于 1×10^4 或者大于 5×10^{10}Ω·cm 的粉尘，会使电除尘器的捕尘效果大大下降。

（九）粉尘悬浮性

粉尘颗粒的大小直接影响其沉降速度。粒径较小的粉尘，由于质量小，可较长时间在空气中悬浮，不易降落，这一特性称为粉尘悬浮性。如以密度为 $850kg/m^3$ 的煤尘为例，根据其粒径的不同，其在静止空气中的沉降速度见表 5-3。

表 5-3　　密度为 850kg/m³ 的煤尘在静止空气中的沉降速度

物料粒径（μm）	沉降速度（m/s）	降落 1m 所需时间（s）
2	0.000 11	8994
5	0.000 66	1510
10	0.002 60	384
20	0.010 33	96
30	0.023 17	43
50	0.064 20	15
100	0.256 38	3.90
200	1.024 64	0.98
300	2.304 77	0.43
500	6.400 68	0.16

（十）煤尘的爆炸性

煤尘爆炸的基本条件包括四个方面：

（1）煤尘具有爆炸的危险性。一般说，除少数无烟煤外，其余各类煤种均属于爆炸性煤尘，煤的挥发分含量越高，煤尘的爆炸性就越强。煤尘有无爆炸性，需经爆炸试验才能鉴定，也可根据煤的工业分析结果，按式（5-5）计算出某种煤的可燃挥发分，大致判断煤尘有无爆炸性。

$$V_r = V_f - A_f - M_{tf} \tag{5-5}$$

式中　V_r——可燃挥发分，%；

V_f——分析煤样的挥发分，%；

A_f——分析煤样的灰分，%；

M_{tf}——分析煤样的水分，%。

一般情况下，可燃挥发分 $V_r<10\%$属基本无爆炸性煤尘，可燃挥发分 $V_r>10\%$属有爆炸性煤尘。煤尘可燃挥发分与爆炸特性的关系见表 5-4。

表 5-4　　煤尘可燃挥发分与爆炸特性的关系

煤尘可燃挥发分（%）	爆炸特性
<10	基本无爆炸性
10～15	弱爆炸性
15～28	较强爆炸性
>28	很强爆炸性

（2）浮悬的爆炸性煤尘达到爆炸所需的浓度。具有爆炸性的煤尘，只有呈悬浮状态并达到一定浓度范围，才有可能发生爆炸。

1）爆炸下限：指单位体积空气中能够发生爆炸的最低煤尘浓度，一般为 30～40g/m³。

2）爆炸上限：指单位体积空气中能够发生爆炸的最高煤尘浓度，一般为 1000～2000g/m³。

3）煤尘爆炸是在爆炸下限和爆炸上限之间的浓度范围内发生的。产生爆炸威力最强的浓度范围为 300～400g/m³。小于 300g/m³ 直到爆炸下限，爆炸强度依次变弱；大于 400g/m³ 直到爆炸上限，爆炸强度缓慢趋弱。

（3）存在引爆火源。煤尘爆炸的引燃温度随煤中可燃挥发分的不同有差异，一般为 700～800℃。引起爆炸的最小能量为 4.5～40MJ。

（4）一定浓度的氧气。煤尘爆炸还需要一定浓度的氧气，要求氧气的浓度不低于 18%。

四、运煤系统通风与粉尘控制设计原则

运煤系统在燃料卸料、堆取料、储存、输送、破碎、转运等过程都产生大量的扬尘。直接扩散到大气中的粉尘和烟囱排放的颗粒物一样形成大气污染物；排放到室内工作场所的粉尘，导致工作环境恶化，严重时会造成运行生产人员的身体健康，而沉积在工作场所的煤尘在特殊条件下还会造成煤尘爆炸。

运煤系统通风的目的是排除工作场所及储煤设施中的含尘气体、可燃气体及地下运煤廊道内的潮气，维持生产过程中产尘空间内的负压，同时把室外的新鲜空气经过适当处理后引入工作场所，从而保持工作场所空气的新鲜和洁净，保障运行人员的职业卫生和职业安全需求，减少运煤系统火灾事故的发生。

运煤系统除尘的目的是维持扬尘点封闭区域内的负压、防止煤尘外溢，净化含尘气体并收集煤尘，保证工作场所的粉尘环境满足 GBZ 2.1—2007 规定的要求，保证除尘器的排放浓度和粉尘排放总量满足相应标准的要求，同时将捕集到的粉尘回收利用，减少燃料的损失。

对煤尘和石灰石粉尘而言，工作场所空气中粉尘容许浓度见表 5-5。

表 5-5　　工作场所空气中粉尘容许浓度

粉尘种类	*FS*（%）	*PC-TWA*（mg/m³）		超限倍数
		总尘	呼尘	
煤尘	*FS*<10	4	2.5	2
	10≤*FS*≤50	1	0.7	2.5
石灰石粉尘	—	8	4	2

注　*FS* 为游离 SiO_2 含量，*PC-TWA* 为时间加权平均的粉尘浓度。

运煤系统的粉尘控制是一项综合性的工作，牵涉到运煤工艺系统与后续粉尘控制设计的密切配合，以及运行过程的有效管理。在设计方面，“控尘”从操作主体上分为主动防尘和被动控尘两类，实际操作中应遵守“主动优先，被动优化”的原则。

主动防尘的目的是减少产尘量和防止粉尘外溢，侧重点在“防”。就是运煤系统在卸料、堆取料、储存、输送、转载、破碎、筛分等过程中，通过一定的封闭措施，减少外界环境风速对静止状态或运动状态煤流的冲击而激发扬尘；通过在转载点采用降速、缓速落煤减少落料过程产生的诱导风量造成产尘；通过对运煤设备和管道，特别是检查口等的密封、扩容减压等措施，以防止粉尘外溢；通过皮带纠偏、皮带减振、皮带清扫等措施防止撒煤、抖动产尘和煤尘振落，因此，主动防尘是控制粉尘的第一步，应优先考虑。

被动控尘是指煤尘颗粒变成扬尘后的治理措施，侧重点在“降尘”“抑尘”“除尘”。即通过降低封闭或半封闭空间内的气流速度、增加煤尘之间或煤尘与降尘部件之间的碰撞、增加粉尘表面湿润等措施，使已经扬起的粉尘沉降，达到自我降尘的目的。对降尘后仍未沉降的细煤尘颗粒物如小于 75μm 以下的煤尘，则应通过负压抑尘方式控制，在进入除尘器前，通过降速、表面湿润等方式进行预除尘，以降低除尘器的入口浓度，提高除尘器的除尘效率。

（一）运煤系统主动防尘

1. 运煤系统主要扬尘点

（1）敞开式场所进行燃煤翻、卸、堆、取等作业时有煤尘飞扬污染现象。如翻车机室地上部分、汽车卸煤沟地上部分、开放式煤场等。

（2）转运站内煤流转运处有漏粉等污染现象。如头部漏斗处、落煤管法兰连接处、落煤管与导料槽接口处。

（3）带式输送机尾部落料点位置有喷粉等污染现象。如导料槽侧板与带式输送机衔接位置、导料槽后段挡板位置、导料槽前段橡胶挡帘处。

（4）带式输送机运行过程中运输路径上有撒煤或由皮带振动引起的煤尘飞扬现象。如带式输送机跑偏及带面振动时胶带工作面、拉紧滚筒、尾部滚筒等处。

（5）转动或振动设备的作业位置有漏粉、喷粉等污染现象。如碎煤机、叶轮给煤机、采样机、振动给煤机、犁式卸料器、拉紧滚筒、尾部滚筒等。

2. 运煤系统主动防尘措施

（1）对原煤进行喷水加湿和喷雾抑尘，当原煤的外在水分保持在 8%～10%时，煤尘基本上得到控制。

（2）翻车机斗、汽车卸煤沟、筒仓等在煤斗容量设计上均考虑封底煤量。

（3）筒仓下部给料设施，采用全密封结构的给煤设备，防止扬尘。

（4）带式输送机采取防跑偏措施。

（5）导料槽采用容积式密闭导料槽，受料点下部设置缓冲床或缓冲滚筒。

（6）运煤皮带的头部回程皮带采用具有负压功能的双面清扫装置。

（7）煤仓间犁煤器的漏斗处设置锁气挡板。

（8）运煤系统尽量减少皮带交叉，控制落煤管长度。

（9）在转运站内采用曲线落煤管或具有一定倾角的落煤管抑制煤尘的产生。

（10）运煤系统转运站、碎煤机室、栈桥、卸煤沟、驱动间及煤仓间等均采用水力清扫。

（11）在煤场四周设喷淋设施，定期向煤堆喷水，以防止煤尘对周围环境的污染。

（二）运煤系统煤尘控制设计标准

运煤系统的除尘设施应按照满足工作场所空气中允许的含尘浓度和室外排放允许的空气含尘浓度要求设计，满足 GBZ 2.1—2007 关于工作场所空气中含尘浓度的职业卫生要求和 DL/T 5035—2016 的除尘器排放浓度要求。

（1）煤尘中含有 10%及以上游离二氧化硅时，工作场所空气中含尘浓度总尘不应大于 $1mg/m^3$，呼尘不应大于 $0.7mg/m^3$；除尘系统向室外排放浓度不应大于 $30mg/m^3$。

（2）煤尘中含有 10%以下游离二氧化硅时，工作场所空气中含尘浓度不大于 $4mg/m^3$，呼吸性粉尘不大于 $2.5mg/m^3$；除尘系统向室外排放浓度不大于 $60mg/m^3$。

（3）石灰石破碎及输送系统的粉尘扬尘点应按照工作场所空气中含尘浓度不大于 $8mg/m^3$，呼吸性粉尘不大于 $4mg/m^3$ 的要求设计除尘系统。除尘系统向室外排放浓度不大于 $60mg/m^3$。

（三）运煤系统煤尘防治设计主要技术机理

1. 降尘

降尘主要指在运煤系统转运站利用容积式密闭导料槽进行的粉尘沉降过程。首先，控制导料槽中的含尘气流风速，防止在除尘器运行时产生二次扬尘，并合理设置导料槽的有效长度，通过重力、惯性力的作用，结合在导料槽中设置的微雾抑尘装置，使粉尘颗粒物凝并、结团后沉降，使较大颗粒的粉尘在导料槽内沉降，从而降低进入除尘器的粉尘总量、降低除尘器的入口含尘浓度，保证除尘器的正常工作和合理的清灰周期。

导料槽与皮带间的密封方式是降低除尘器抽风量、保持导料槽内的持续负压、减少粉尘外溢的重要措施。导料槽尾部因为没有物料的输送需求，大部分运煤皮带导料槽尾部侧断面可以采用封闭措施，导料槽出口侧断面 50%～70%部分可以采用钢板封闭，其余部分采用梳状橡胶挡帘封闭。导料槽与皮带间的密封可采用断面设计合理的双层密封裙边或者摩擦系数小的滑板式密封。

2. 微雾抑尘

微雾抑尘技术是无组织粉尘控制的重要技术之一，其原理是利用微米级的雾滴在空气中悬浮时间长、与悬浮在空气中的细微粉尘接触机会多，通过表面湿润、凝并、结团等过程，使粉尘颗粒聚积成较大的颗粒降落，从而达到沉降细小粉尘的目的。

微雾抑尘技术适合于面积大、产尘点多的生产性粉尘控制。如发电厂的翻车机翻车卸煤、汽车卸煤、叶轮给煤机取煤、斗轮机堆取料过程，转运站的头部漏斗、导料槽内部和受料皮带尾部的辊筒，皮带输送机载料输送过程的沿程抑尘、回程皮带清扫器后的皮带表面湿润，原煤仓落料口的粉尘控制等场所，以及煤堆表面喷雾抑尘和灰库装灰过程的灰库进出口抑尘。

根据微雾发生的原理，分为单流体微雾和双流体微雾。单流体微雾也称高压微雾，是采用高压泵将水加压到一定的压力，一般为 5.0～7.0MPa，通过喷嘴雾化后形成微雾；双流体微雾是由压缩空气和水两种流体在喷嘴内通过压缩空气引射水形成雾化，大部分经常采用的喷嘴为拉瓦尔喷嘴，由渐缩段和渐扩段组成，喉口处的气流速度可以达到超声速，因此，双流体微雾也称为超声雾化。

3. 除尘

采用机械式除尘设备，排除导料槽、原煤仓、筒仓内的含尘气体，并维持这些空间的负压，避免运煤运行过程中的粉尘外溢，分离并回收含尘气体中的煤尘，使排放气体的含尘浓度达到相关标准的排放要求。

（四）运煤系统煤尘防治设计主要技术措施

运煤系统煤尘的防治设计，应采用综合治理措施。根据工程实际情况，本着因地制宜，经济实用，从运煤工艺系统的防尘、原煤加湿、重力和惯性降尘、微雾抑尘、除尘器除尘、水力清扫和人工清扫等方面统一规划、综合考虑。

运煤系统各工艺过程的煤尘控制措施见表 5-6。

表 5-6　　运煤系统各工艺过程的煤尘控制措施

工艺过程及部位		通风	挡风措施	降尘	微雾抑尘	除尘
翻车机卸煤	卸煤		利用翻车机室围护结构		微雾抑尘（长射程）	
	给煤机			导料槽	微雾抑尘	①
	地下运煤廊道	机械通风			喷雾	
火车卸煤沟	底开车卸煤		利用卸煤沟上部建筑围护结构		微雾抑尘（长射程）	
	给煤机			导料槽	跟踪式微雾抑尘	
	地下运煤廊道	机械通风			喷雾	
汽车卸煤	卸煤		宜采取挡风措施		微雾抑尘（长射程）	
	给煤机			导料槽	微雾抑尘	①
	地下运煤廊道	机械通风			喷雾	
转运站	头部漏斗			密闭罩	微雾抑尘	
	导料槽			容积式密闭导料槽	微雾抑尘	除尘器
碎煤机室	头部漏斗			密闭罩	微雾抑尘	
	筛分设备			移动式密闭罩		除尘器
	导料槽			容积式密闭导料槽	微雾抑尘	除尘器
原煤仓	煤仓落料口			密闭罩	微雾抑尘	
	原煤仓	机械通风				除尘器
筒仓	筒仓落料口			密闭罩	微雾抑尘	
	筒仓	机械通风				除尘器
	给煤机			导料槽	微雾抑尘	
地下运煤廊道		机械通风			喷雾	
地上栈桥	栈桥	自然通风/机械通风				
	带式输送机				输送距离较长时设置	

续表

工艺过程及部位		通风	挡风措施	降尘	微雾抑尘	除尘
圆形封闭煤场	圆形煤场	自然通风				
	堆、取料机				微雾抑尘	
	地下煤斗				微雾抑尘	
	地下运煤廊道	机械通风				
条形封闭煤场	条形煤场	自然通风				
	堆取料机				微雾抑尘	

① 煤斗至给煤机受料皮带的落差一般在2m左右，所需除尘风量很小，可以不设置除尘器。

第二节 运煤建筑供暖

一、运煤建筑供暖设计原则

1. 运煤系统供暖热媒

运煤建筑一般采用高温热水作为供暖热媒，严寒地区可根据现场实际情况采用蒸汽作为供暖热媒。

高温热水供暖热媒的温度宜与厂区供暖热媒保持一致，一般为110～70℃。

当采用蒸汽作为供暖热媒时，蒸汽温度不应超过160℃，供暖凝结水应回收利用。在转运站最低处设置凝结水回收器，回收转运站以及与其连通的斜升栈桥的散热器凝结水。凝结水回收后采用凝结水回收器自带的水泵，经过凝结水管网输送至厂区加热站、机组疏水扩容器或其他场所统一回收利用。

2. 运煤系统供暖设备

供暖设备宜选用不易积尘和便于清扫的散热器，严寒地区应采用水容量较大的钢管柱型散热器或钢排管散热器，以避免严寒地区由于围护结构保温不严密、门窗缝隙较大或供暖加热站故障时供回水流动不畅，导致散热器和管路冻结的现象。

严寒地区供暖系统室外部分阀门宜采用铸钢材质，以防由于铸铁阀门生锈失效导致室内管道流量受影响。

3. 运煤建筑供暖系统布置要求

供暖系统宜采用同程式布置，供暖设备一般沿栈桥单侧布置，栈桥宽度大于7m时，宜采用双侧布置。

二、运煤转运站、碎煤机室和运煤栈桥供暖

1. 工艺介绍

转运站是布置运煤网络、定位运煤去向、设置提升运煤机的主要建筑物，同时为运煤设备提供必要的布置空间、运行环境和检修场地。转运站根据运煤皮带交叉和煤的落差高度设计为单层或多层建筑，布置有皮带输送设备、破碎筛分设备、除尘器设备等。

碎煤机室是布置碎煤机、煤筛、定位运煤去向的主要建筑物。碎煤机是将块煤破碎至所需粒度的机械设备。常用的碎煤机有环锤式、反击式、锤击式三种。

运煤栈桥是布置带式输送机的建构物，一般采用封闭式围护结构，围护结构形式分为砖墙封闭、带保温压型钢板封闭和混凝土拱壳封闭结构。运煤栈桥高度一般为3.0～4.0m。运煤栈桥内设有运煤皮带机、通风系统、电缆桥架、供排水系统和消防系统。

2. 供暖系统划分

热水供暖系统宜以一个转运站或碎煤机室及其相邻斜升栈桥来划分为一个供暖系统。当栈桥长度超过供暖作用半径时，宜划分为多个供暖系统。

图5-2～图5-4所示为运煤系统常用的几种供暖系统。

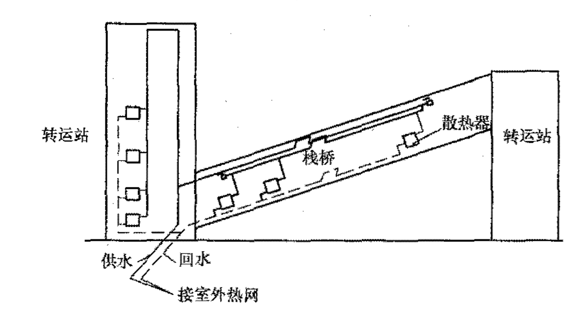


图5-2 热水供暖系统示意图（一）

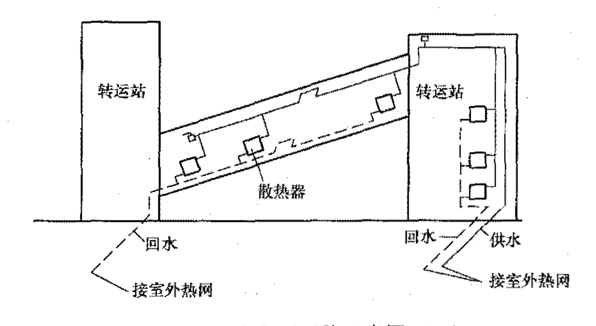


图5-3 热水供暖系统示意图（二）

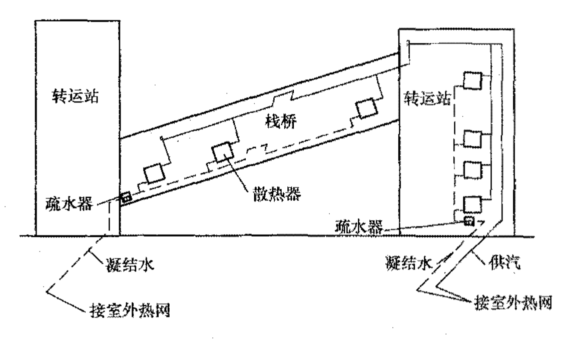


图 5-4　蒸汽供暖系统示意图

夏热冬冷地区的运煤建（构）筑内，当冬季存在冻结可能时，可在运煤皮带头部及尾部设置局部供暖。

转运站、碎煤机室和栈桥供暖室内设计温度见表 5-7。

表 5-7　转运站、碎煤机室和栈桥供暖室内设计温度

建筑物		供暖室内设计温度（℃）
转运站	地上	10
	半地下	10
	地下	16
碎煤机室	地上	10
	地下	16
栈桥		10
除尘室		10
运煤隧道		10

3. 转运站、碎煤机室

（1）计算转运站供暖耗热量时，应考虑维护结构封闭不严、冷风渗透大、热压作用等因素，对建筑供暖热负荷附加 20%～30%。

（2）转运站和碎煤机室的供暖热媒应从供暖管网单独引接，当转运站或碎煤机室与其相邻斜升栈桥划为一个供暖系统时，应采用两个分支系统并联布置。以便于建筑单体的运行调节和管理。

（3）多层布置且上下相通的转运站和碎煤机室，散热器应按一定比例分布在下部各层。

4. 栈桥

（1）栈桥结构通常采用带保温压型钢板封闭外墙和屋面的做法，现场往往存在内围护结构封闭不严、蓄热能力差、斜升式栈桥存在热压作用等因素，所以对供暖热负荷附加 20%～30%。

（2）斜升栈桥内散热器一般采用单侧布置，在严寒地区单侧布置不能满足布置要求或栈桥宽度较大时，可采用双侧布置。受栈桥内的烟囱效应等因素影响，栈桥内下部增加散热器布置密度，上部可减少散热器布置密度。

（3）每条栈桥的供暖系统宜从供暖管网单独引接，以便运行调节和管理。

（4）栈桥内供暖系统的供回水干管及蒸汽干管和凝结水管应考虑管道热膨胀的补偿措施。供暖管道的补偿器布置合理，不影响人员通行。

（5）部分栈桥由于长度较长，沿栈桥设置的散热器通常需要进行流量调节，以满足末端水量的需要，因此栈桥设置的散热器供回水管应设置阀门。

三、煤仓间及筒仓供暖

1. 工艺介绍

煤仓间是指主厂房运煤皮带层和运煤皮带层的头部转运站。从运煤系统输送来的煤经过头部转运站落到运煤皮带层的水平皮带上，由犁煤器或移动小车将煤卸到原煤仓里。

当电厂没有足够场地布置室外储煤场或环境要求较高时，一般采用储煤筒仓储煤。储煤筒仓分为筒仓上部给煤皮带层、筒仓底部皮带层。

2. 供暖系统

全厂供暖热媒为热水时，由于煤仓间及筒仓高度远超过厂内其他供暖建筑物，为避免全厂热水供暖系统因定压点压力过高对系统中散热设备、阀门等部件的承压造成不利影响，煤仓间及筒仓宜单独设置供暖系统或采用高层直连加压装置的供暖系统。

筒仓给煤皮带层、筒仓底层、地下皮带层应设置供暖设施。圆筒仓各区域供暖室内设计温度见表 5-8。

表 5-8　　圆筒仓各区域供暖室内设计温度

房间名称	给煤皮带层	筒仓底层地上部分	筒仓底层地下部分
供暖室内设计温度（℃）	10	10	16

煤仓间及筒仓采用高层直连加压装置供热时，供暖系统的供水宜从供暖加热站的分水器引接。

图 5-5 所示为煤仓间采用高层直连加压装置供热常用的供暖系统。

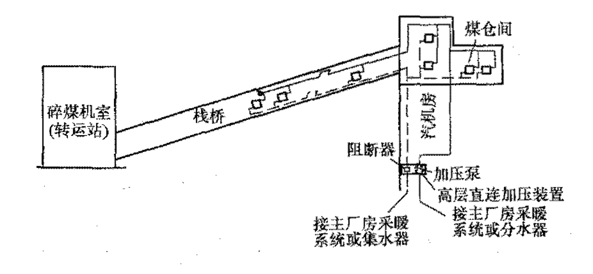


图 5-5　煤仓间采用高层直连加压装置供暖系统示意图

四、卸煤沟和翻车机供暖

1. 工艺介绍

翻车机是燃煤火力发电厂铁路运煤车使用的大型自动翻卸设备，主要由圆盘、构架、驱动装置、夹具总成及定推平台、靠板振动器、托辊装置等组成。它是将敞顶运煤车翻转一定角度，靠煤自重卸煤的一种卸载机械。在电厂中使用时，需相应地设置缝式煤槽或地下煤斗，以构成完整的翻卸设施。翻车机有转子式和侧倾式两种。

(1) 转子式翻车机。被翻运煤车皮中心基本与翻车机转子同心，车皮和转子同时回转，将煤卸入下方的受煤斗中。

(2) 侧倾式翻车机。被翻运煤车皮中心与翻车机转子中心保持一定的偏心距离，借助转子的悬臂举升车皮，将煤卸在一侧的受煤斗中。

翻车机卸煤系统的布置主要有折返式和贯通式两种形式。

翻车机卸煤系统主要由翻车机、重车调车机、牵车台、空车调车机、单向止挡器（逆止器）、夹轮器等设备组成。

2. 供暖室内设计温度

卸煤沟和翻车机室冬季供暖室内设计温度见表 5-9。

表 5-9　卸煤沟和翻车机室供暖参数

建筑物名称		供暖		
		供暖室内温度（℃）	热媒	散热设备
卸煤沟	地上	10	蒸汽或热水	散热器
	地下	16		
翻车机室	地上	10		散热器、大门热风幕
	地下	16		散热器
休息室		18		散热器
轨道衡	控制室	18	蒸汽、热水或电供暖	散热器或电暖器
	办公室	18		
	钳工室	16		
汽车衡		16～18		

3. 卸煤沟供暖系统

汽车卸煤沟和火车卸煤沟底部设散热器供暖系统，当冬季散热器供暖系统无法满足室内在通风状态下维持 5℃的要求时，按照本节六、运煤系统供暖热补偿设置热补偿供暖装置，以补偿冬季通风所消耗的热量。

4. 翻车机室供暖系统

翻车机室地下各层应设散热器供暖系统。翻车机室地上部分易发生冻结的消防水管道已采取防冻措施时，地上部分可不设供暖系统。控制室、喷雾抑尘设备间等应设置供暖设施。

由于翻车机室厂房高、火车进出口大门开启时间长、冷风渗透量大、供暖热负荷大，对于部分严寒地区，当地上部分设有供暖系统时，外大门应设置大门热风幕。

热风幕宜采用侧吹式，侧吹式热风幕便于布置，工程中应用较多。

(1) 翻车机室大门热风幕设置应符合下列规定：

1) 热风幕系统应按间歇运行设计，并与卷帘门联锁运行，卷帘门开启以供火车进出时，热风幕开启，卷帘门关闭时热风幕停止运行，热风幕加热盘管的入口应设电动阀，并与热风幕联锁。

2) 热风幕采用双侧送风，送风温度不应高于 70℃，以满足劳动安全的要求。

3) 热风幕的出口风速不宜大于 25m/s。

4) 热风幕喷嘴尽量靠近大门，如不能靠近时，应在门框与喷嘴之间设置挡板，以消除其间的缝隙。

(2) 翻车机室大门热风幕的送风量、加热量应按如下条件设计计算：

1) 主要参数：热风幕送风温度为 50～70℃，热风幕送风风速为 5～25m/s，热风幕送风角度为 45°。

2) 热风幕送风口尺寸：喷嘴宽度取 80～100mm，喷嘴长度取喷嘴宽度的 2～3 倍。

3) 热风幕送风量计算。热风幕送风量计算式为

$$L_s = 3600bhv_s \tag{5-6}$$

式中　L_s——热风幕送风量，m^3/h；

b——热风幕送风口宽度，m；

h——热风幕送风口高度，m；

v_s——热风幕送风口风速，m/s。

4) 热风幕加热量计算。热风幕加热量计算式为

$$Q_s = 0.28cL_s\rho_s(t_s - t_{mi}) \tag{5-7}$$

$$t_{mi} = \frac{t_s - (1-\mu)t_w}{\mu} \tag{5-8}$$

式中　Q_s——热风幕加热量，W；

c——比热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

ρ_s——送风空气密度，kg/m^3；

t_s——热风幕送风温度，℃；

t_w——室外供暖计算温度，℃；

t_{mi}——室内空气和室外空气混合温度，℃；

μ——热风幕送风量与通过大门进入的空气量之比，一般取 0.4～0.5。

五、燃料管理与控制中心供暖

燃料管理与控制中心的功能设置有些比较简单，除燃料计划管理外，具备入厂煤计量、采样、制样的基本功能，有些燃料管理与控制中心的功能设置较为集中，将煤质分析的功能纳入其中。

控制室、办公室、元素分析室、水分分析室、煤样制备间、量热仪室等房间，按维持室内温度18℃设计供暖系统，淋浴间按室内温度26℃设计供暖系统，为制样室配套的除尘设备间按维持室内温度 10℃设计供暖系统。

燃料管理与控制中心的供暖系统热媒与厂区供暖热媒保持一致，一般采用 110～70℃或参数较低的热媒水。

煤制样间为适应不同煤种制样的需要，配备了较多种类的破碎设备，如锤式破碎机、对辊破碎机、颚式破碎机、湿煤破碎机等，以及电动缩分机、制样粉碎机、振筛机、鼓风干燥箱等设备，大部分设备采用全密封设计、粉尘污染小，且设备成套厂家一般会配置相应的除尘系统，因此，煤制样间设置除尘设备时，宜考虑除尘设备排风带来的热补偿。

六、运煤系统供暖热补偿

1. 供暖热补偿设计要点

严寒地区和寒冷地区的运煤隧道、地下卸煤沟、转运站等设有通风设施和除尘设施时，应根据热平衡计算冬季通风耗热量，热补偿系统应与通风系统和除尘系统联锁运行，以利于运行节能。

供暖热补偿计算应符合下列规定：

（1）冬季热风平衡计算时，通风系统和除尘系统运行期间的室内温度可按 5℃计算，室外温度采用冬季室外供暖设计温度。

（2）按照维持室内温度 5℃校核散热器供暖系统的热补偿能力，不足部分宜增设散热器或采用热风补偿供暖系统进行补偿。热风补偿系统可采用带加热盘管的新风机组装置，加热后的新风通过风道送入室内。热风补偿系统的气流组织应合理，车间内工作地带的风速不宜大于 0.5m/s，以避免由于风速高造成煤尘飞扬。

2. 供暖热补偿计算

（1）供暖热补偿风量。可根据通风系统和除尘系统排风量之和选取。

（2）供暖热补偿加热量计算。供暖热补偿加热量计算式为

$$Q = 0.28cL\rho(t_n - t_w) \qquad (5\text{-}9)$$

式中 Q——供暖热补偿加热量，W；

c——空气比热容，取 1.01kJ/（kg·℃）；

L——供暖热补偿风量，m^3/h；

ρ——进风空气密度，kg/m^3；

t_n——室内供暖热补偿设计温度，取 t_n=5℃；

t_w——室外供暖计算温度，℃。

第三节 卸煤沟、翻车机室通风与除尘

一、卸煤沟通风与除尘

1. 汽车卸煤沟及火车卸煤沟通风

汽车卸煤沟及火车卸煤沟地下建（构）筑物夏季通风量宜按换气次数不少于 15 次/h 计算；冬季通风量可按换气次数不少于 5 次/h 计算，以减少散热器热补偿或热风补偿的负荷。通过设置多台通风设备的方式，分季节调整通风设备运行台数以实现上述要求。卸煤沟通风的气流组织应合理，车间内工作地带的风速不宜大于 0.5m/s。

汽车卸煤沟、火车卸煤沟下部由于空间较大，为满足通风量要求，采用自然进风方式时，常规的百叶窗面积通常因过大而不便设置，一般采用新风机组机械进风、新风机组或风机机械排风的通风方式。

地下运煤建（构）筑物通风系统的进风口宜设在室外空气较洁净的地点，以保证进风的质量。

当采用蒸汽供暖系统时，卸煤沟内设置凝结水箱和凝结水泵的地点应考虑局部通风。

运煤系统的通风机均选用防尘防爆型电动机。

2. 卸煤沟除尘

地下卸煤沟宜采用自动跟踪水喷雾抑尘或微雾抑尘系统，机械自动跟踪通风除尘系统，由于吸风管道严密性差，目前工程中已经很少使用。

地下卸煤沟下部的喷雾抑尘宜设置在叶轮给煤机顶部和底部带式输送机落料点处，减少叶轮给煤机卸煤过程中的扬尘。地下卸煤沟微雾抑尘喷嘴布置如图 5-6 和图 5-7 所示。

汽车卸煤沟地面以上部分的喷雾抑尘，一般每个车位设置一组喷嘴装置，微雾发生装置的容量按所有车位同时使用系数 0.5～0.6 计算选取。当汽车卸煤或推煤机将煤场的煤推至汽车卸煤沟时，启动喷雾抑尘系统进行喷雾抑尘，以减少作业过程中的扬尘。

火车卸煤沟地面以上部分的喷雾抑尘采用在火车卸煤沟两侧设置喷嘴，当火车从车厢底部卸煤时，启动喷嘴对卸煤过程产生的扬尘进行加湿后抑尘。

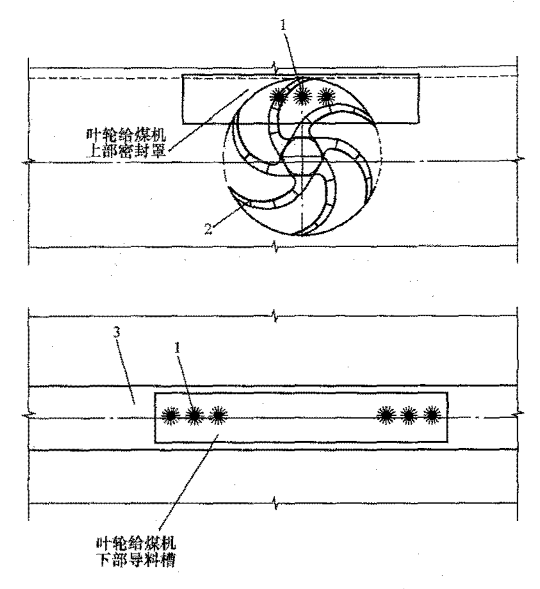


图 5-6　地下卸煤沟微雾抑尘喷嘴布置平面图
1—喷嘴；2—叶轮给煤机；3—带式输送机

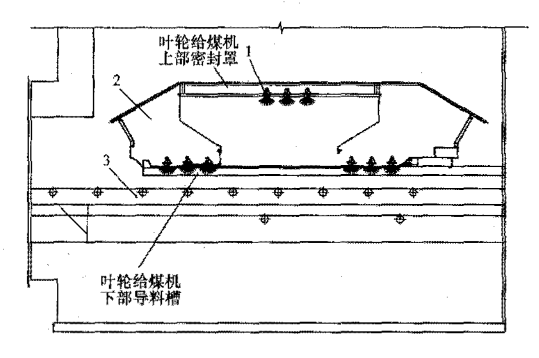


图 5-7　地下卸煤沟微雾抑尘喷嘴布置剖面图
1—喷嘴；2—叶轮给煤机；3—带式输送机

二、翻车机室通风与除尘

1. 翻车机室通风

翻车机室地下建（构）筑物夏季通风量宜按换气次数不少于 15 次/h 计算，冬季通风量可按换气次数不少于 5 次/h 计算，以避免增加散热器热补偿或热风补偿的负荷。可采用设置多台通风设备的方式，分季节调整通风设备运行台数以实现上述要求。翻车机室通风的气流组织应合理，车间内工作地区的风速不宜大于 0.5m/s。

翻车机室地下部分通风一般通过检修孔或单独设计的混凝土风道等自然进风，采用风机机械排风，如图 5-8～图 5-10 所示。

翻车机室建（构）筑物地下部分通风的进风口宜设在室外空气较洁净的地点，以保证进风的质量。

2. 翻车机室除尘

（1）翻车机室水喷雾抑尘。

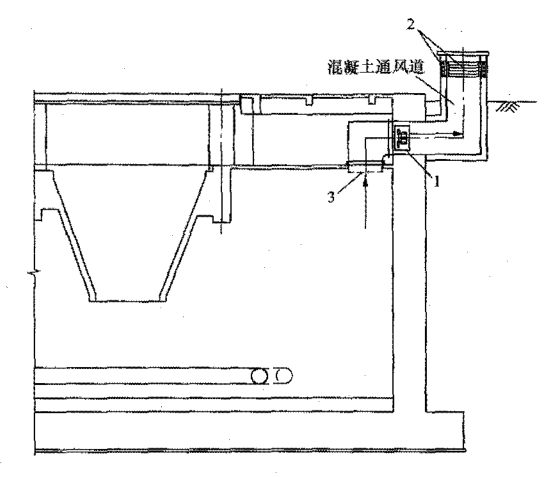


图 5-8　翻车机室地下部分通风剖面图（一）
1—轴流风机；2—防雨百叶；3—安全网

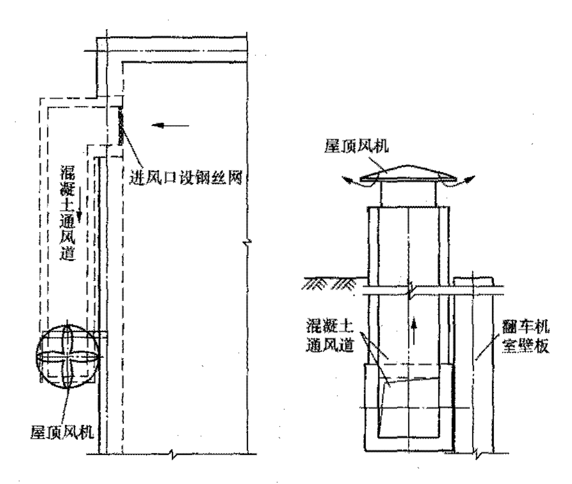


图 5-9　翻车机室地下部分通风平面图（二）

图 5-10　翻车机室地下部分通风剖面图（三）

1）水喷雾除尘的原理。水喷雾除尘的原理是尘粒和水滴之间的惯性碰撞和扩散。当粉尘粒径大于粉尘与水滴边缘的距离时，则粉尘被水滴黏附捕捉。湿润后的粉尘相互凝集增大，通过惯性或重力作用沉降下来。

2）系统设计。翻车机室水喷雾抑尘系统主要由水箱、水泵、管路、喷嘴组成。翻车机室水喷雾抑尘系统布置如图 5-11 和图 5-12 所示，水喷雾系统如图 5-13 所示，除尘水泵间水系统如图 5-14 所示。

3）喷嘴布置。喷嘴排列形式、数量和布置是根据尘源产生的特点、粉尘浓度的分布、含尘气流回返压力的大小、煤斗敞口面积等因素来确定。由图 5-13、图 5-15 可见，在翻车机室正前方由上而下布置了五排喷嘴，第一排与水平成 75°～80°，这排喷嘴主要是捕捉当翻车机旋转到大于煤的自然安息角时，煤下落所产生的粉尘，因这时产生的粉尘浓度低，故只设一

排喷嘴；第二、三、四排喷嘴与水平成45°～60°角，这三排喷嘴是捕捉煤斗内回返气流所带上来的粉尘，这部分粉尘的含尘浓度高，是产生粉尘的主要尘源，故设三排喷嘴；第五排喷嘴向下，捕捉第二、三、四排喷嘴捕捉不到的煤尘；第四排与第五排交错排列，使雾粒密度分布均匀；根据工程实际情况，除在正面设置喷嘴外，翻车机后侧再设两排水平安装的喷嘴，如图 5-11 所示。喷嘴支管与干管连接示意如图 5-16 所示。喷嘴间垂直方向间距宜不小于 300mm，如图 5-15 所示。

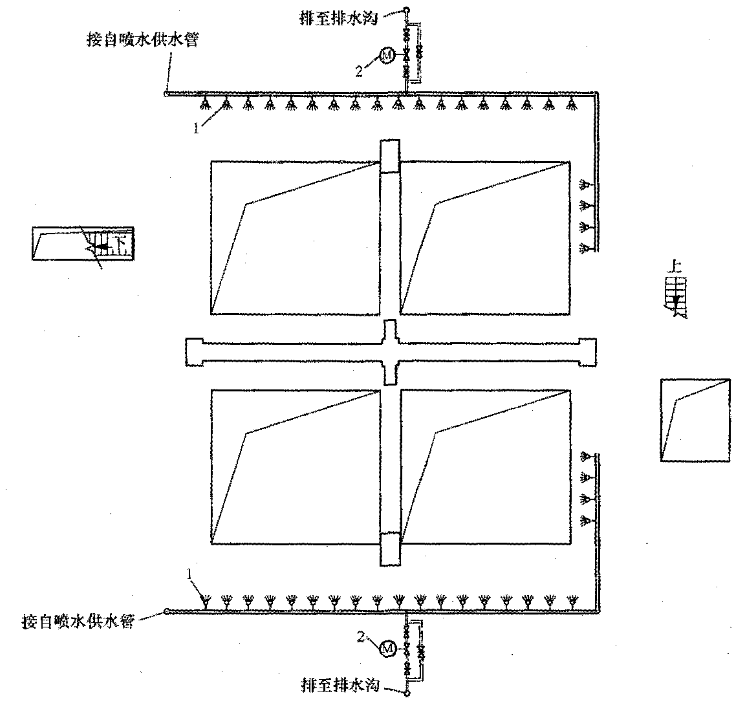


图 5-11 翻车机室水喷雾抑尘系统布置平面图

1—喷嘴；2—电磁阀

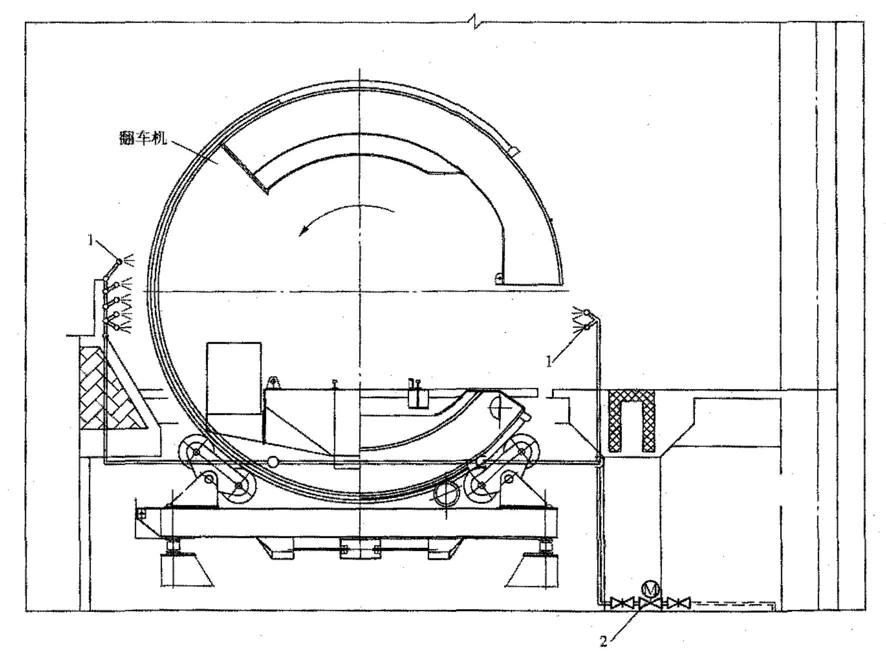


图 5-12 翻车机室水喷雾抑尘系统布置剖面图

1—喷嘴；2—电磁阀

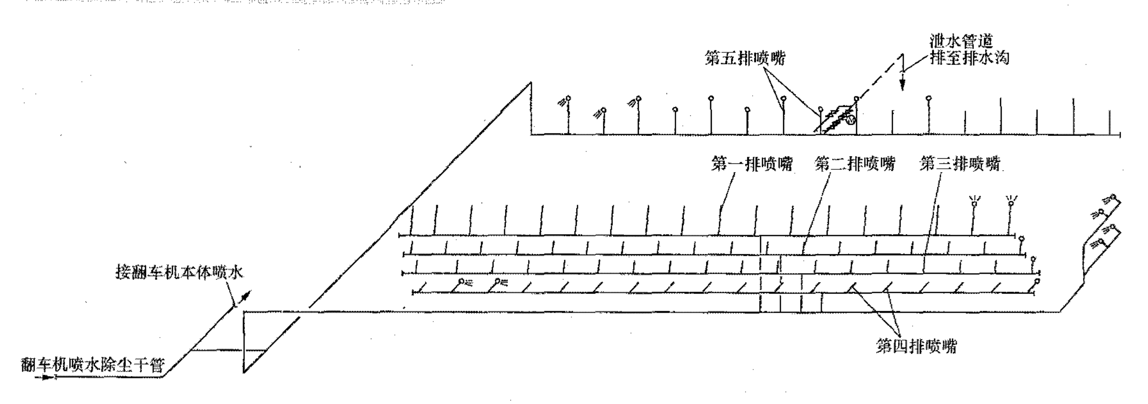


图 5-13　翻车机室水喷雾系统图

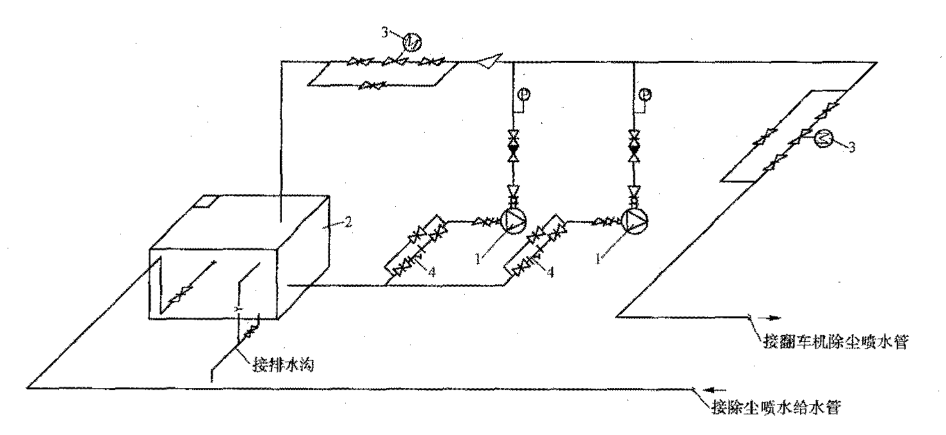


图 5-14　翻车机室除尘水泵间水系统图

1—水泵；2—水箱；3—电磁阀；4—过滤器

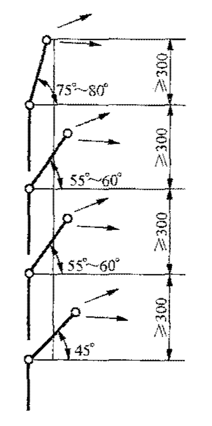


图 5-15　翻车机室水喷雾系统喷嘴支管与水平面夹角示意

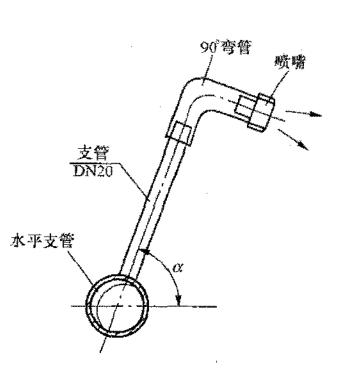


图 5-16　翻车机室水喷雾系统喷嘴支管与干管连接示意图

4）管道布置。主管尽量连接在每排支管的中间，使远近喷嘴雾化均匀，管道有一定坡度，低点设放水阀，把管道内积存的泥土和铁锈等杂物定期冲洗出去，同时，可避免翻车机室地上部分冬季不供暖地区喷雾系统管道冻裂。

5）水箱、水泵及喷嘴选择。

a．水箱容积根据喷雾用水量和补水能力确定，一般不小于 $3m^3$。

b．水泵的扬程应满足喷嘴前压力不低于 0.25MPa 的要求，水泵流量根据喷嘴数量及技术性能进行计算，为防止水泵电动机频繁启动，在水泵出口设置循环管，保证电动机连续运行，通过循环管上的电磁阀控制喷雾工况。

c．喷嘴宜选铜制或不锈钢制，避免压力突然变化造成损坏。单个喷嘴的耗水量不宜大于 35kg/h，雾滴粒径不宜大于 25μm。同时，喷嘴的角度应是可调的，以便于根据实际运行情况进行喷嘴角度的调节。

6）水源。

a．喷雾水的水质不好会导致喷嘴过度磨损，导致水的雾化效果差，从而影响抑尘的效果。喷雾水的浊度宜小于 7mg/L。

b．水喷雾效果的好坏除了与压力有关外，还与水的温度有关，水温过低，水的张力大，不易雾化。水温一般保持 35～40℃为宜，冬季可利用蒸汽供暖系统的凝结水作为补水提高水的温度。

（2）翻车机室微雾抑尘。

1）翻车机室上部除采用水喷雾抑尘方式外，翻车机室上部也可采用微雾抑尘方式，目前已经在运煤

系统粉尘控制设计中推广开来，经过多个电厂工程实例的反馈，抑尘效果要远好于单纯采用水喷雾抑尘的做法，同时节约了耗水量，不会造成翻车机底部积水。

2）翻车机室下部的给煤设备落煤点处一般采用微雾抑尘，同时结合采用容积式密闭导料槽以及除尘器达到综合粉尘控制的目的。

翻车机微雾抑尘剖面如图 5-17 所示，翻车机喷嘴设置剖面如图 5-18 所示。

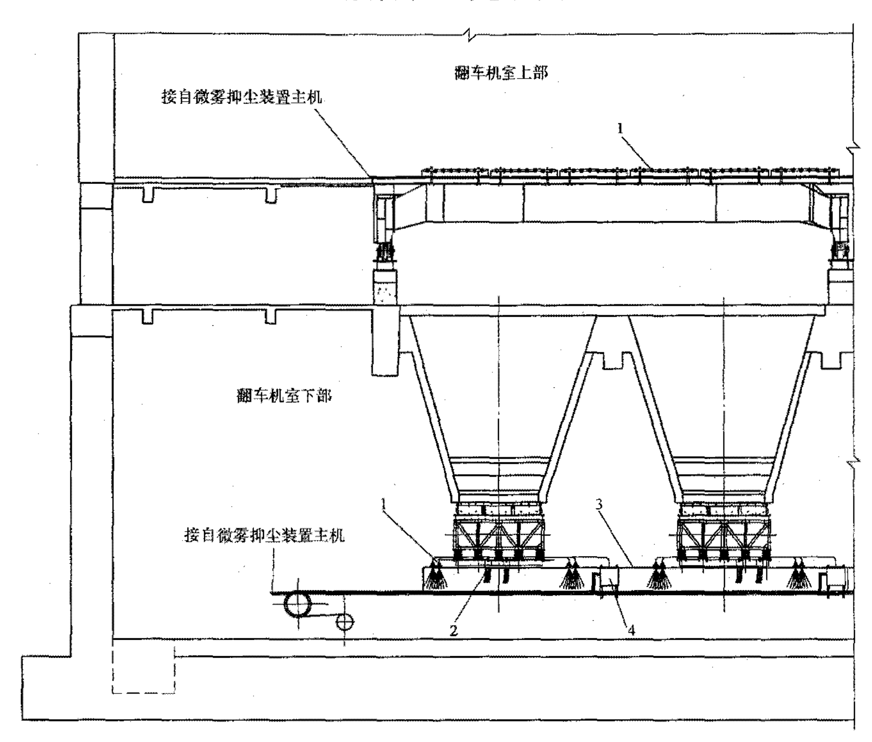


图 5-17　翻车机微雾抑尘剖面图

1—喷嘴；2—抑尘挡帘；3—容积式密闭导料槽；4—微雾分配器

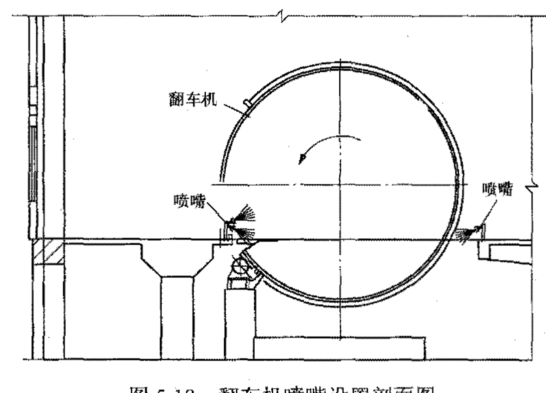


图 5-18　翻车机喷嘴设置剖面图

第四节　封闭储煤设施通风与除尘

为保障燃煤发电厂的安全可靠运行，根据电厂来煤方式的不同，电厂的储煤容量应满足 5～20 天机组燃煤的需求。储煤设施按封闭方式不同可分为露天储煤、半封闭储煤和全封闭储煤三种。露天储煤最易受环境风速的影响，导致在堆取料过程、储存期间产生扬尘，对周围环境造成粉尘污染，随着环境保护要求和环保意识的不断提高，目前的露天储煤方式越来越少；半封闭储煤是在露天储煤基础上发展而来，例如部分条形煤场采用网架结构上部封闭、两端敞开，但也不能保证生产的全过程中煤尘不扩散到周围环境；全封闭储煤的形式有很多，常见的包括圆筒仓、圆形封闭煤场、条形封闭煤场，封闭煤场绝大部分采用钢网架结构，近几年还出现了薄壳混凝土球形煤仓和采用气膜结构的条形封闭煤场，如图 5-19 和图 5-20 所示。

一、圆筒仓

1. 工艺简介

圆筒仓储煤罐一般由多个钢筋混凝土圆筒形结构排列组成，给煤皮带层位于筒仓的顶部，设有带式输送机和卸煤设备，底层和地下皮带层为给煤机和带式输送机，为防止物料堵仓，在筒仓侧壁上还设有空气炮。

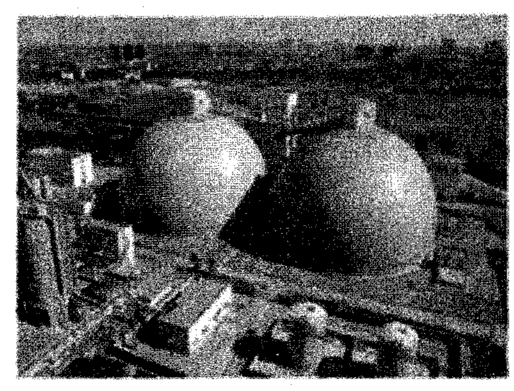


图 5-19 球形煤仓外形图

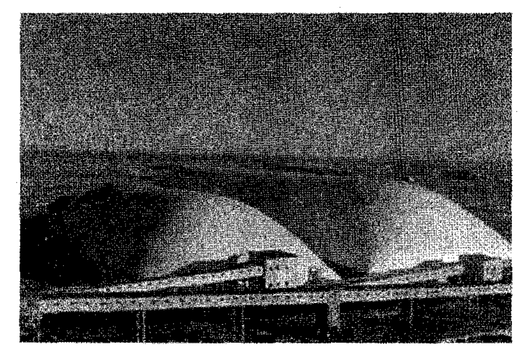


图 5-20 气膜式条形封闭煤场外形图

2. 通风除尘

(1) 圆筒仓上部皮带层落煤点应设置微雾抑尘和机械通风除尘设施，机械通风除尘的风量参照原煤仓除尘风量计算。

(2) 圆筒仓地下皮带层给煤机落煤点的导料槽内设置微雾抑尘装置。

二、圆形封闭煤场

1. 工艺简介

圆形封闭煤场由钢结构网架屋盖和环形钢筋混凝土侧墙组成，钢结构网架上铺彩色压型钢板封闭。圆形封闭煤场具有煤场场地利用率高、占地面积小、储煤量大的特点，解决了大型发电厂尤其是滨海电厂露天煤场对厂区及电厂周围的环境污染问题，提高了发电厂运煤系统安全可靠性，减少了储煤因风蚀扬尘造成的燃料的流失。圆形封闭煤场剖面如图 5-21 所示。

堆料机有不可俯仰式和可俯仰式悬臂堆料机两种形式，一般采用不可俯仰式；取料机有悬臂式和门架式耙料机两种形式，直径小于 100m 的圆形封闭煤场一般采用悬臂式，直径大于 120m 的圆形封闭煤场一般采用门架式。

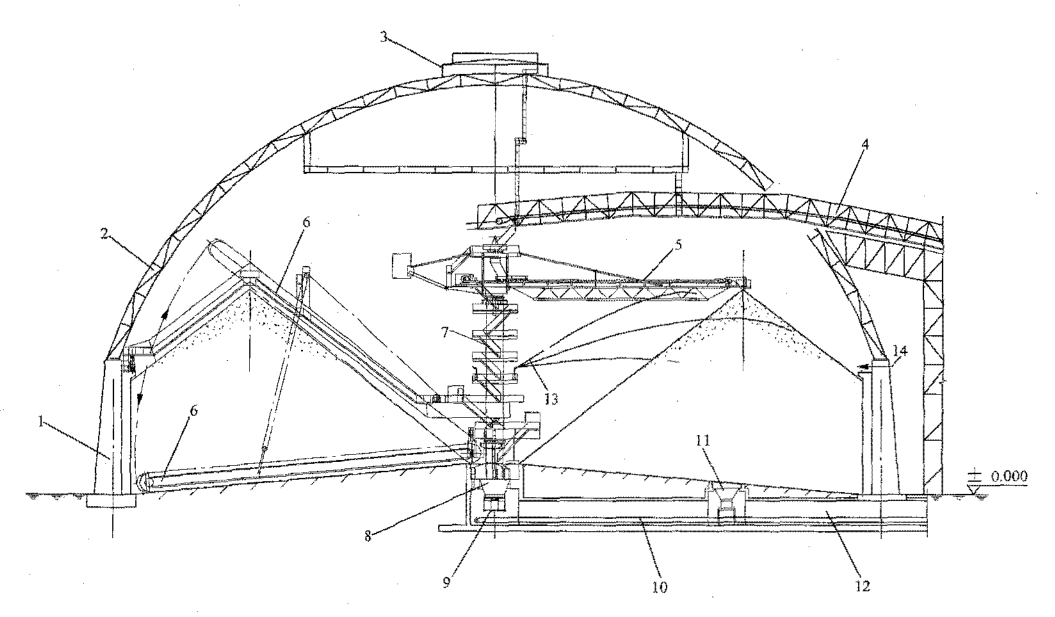


图 5-21 圆形封闭煤场剖面图

1—混凝土挡墙；2—钢结构网架及彩钢板；3—排风口；4—栈桥；5—堆料机；6—取料机；7—回转中心；8—地下煤斗；9—给煤机；10—带式输送机；11—地下煤斗；12—地下运煤廊道；13—煤堆喷洒水；14—环形进风口

2. 通风

(1) 圆形封闭煤场。圆形封闭煤场的内部空间庞大，为防止可燃性气体以及煤尘的聚积，保证作业人员的职业卫生环境，排除底煤可能自燃产生的烟气以及挥发出的有害气体、可燃性气体。圆形封闭煤场一般采用自然通风的方式。在网架屋盖根部与环行挡墙顶部之间设有 2～3m 高的环形进风口，在屋盖顶部中央设有通风排风口。室外空气通过圆形煤场四周的环

形进风口进入室内，由顶面排风口排至室外。

根据对一些已运行的圆形封闭煤场通风状况的调研，在室外风速较大时，环形进风口的进风易将煤堆表面的煤尘吹起，造成圆形封闭煤场内粉尘浓度超标。在一些工程中，已采用降低钢结构网架屋盖底部标高，使其低于混凝土挡墙顶部标高的做法，避免了大气环境的风流直接吹向煤堆造成室内污染的问题。

（2）地下运煤廊道。地下运煤廊道一般布置于圆形封闭煤场正对大门的车辆进出通道下部，在圆形煤场内的长度为圆形煤场的半径长度，一般在60m左右。图5-21中的地下煤斗11位于车辆进出通道上，上面铺设煤篦，当取料机设备发生事故或检修时，采用推煤机将燃煤推向地下煤斗上煤。

地下运煤廊道应按夏季不小于15次/h、冬季不小于5次/h换气次数设置机械通风系统，宜通过设在煤场外的风机将室外新风沿风道送入煤场内的地下运煤廊道，再由设在煤场外的排风机排到室外。

地下煤斗的上部开口部分所处的环境为煤尘重度污染区域，车辆来回经过，粉尘量大，不应作为机械排风系统的进风口。

3. 微雾抑尘

（1）在堆料带式输送机的头部落料点和尾部的受料点设置喷雾除尘装置，控制煤尘的扩散，减少煤尘飞扬。

（2）在取料机的取料点和受料点设置喷雾除尘装置。

（3）地下煤斗给煤机的导料槽内应设置喷雾除尘装置。

三、条形封闭煤场

1. 工艺简介

条形封闭煤场是在条形煤场基础上增加了外部封闭结构，即采用钢结构网架外铺彩钢板实现整个煤场的封闭，条形封闭煤场一般采用悬臂式斗轮堆取料机进行堆取料作业。条形封闭煤场根据储煤量的要求，跨度从几十米到100多米，长度从几十米到400多米，或者多个条形封闭煤场并列布置，条形封闭煤场横剖面如图5-22所示。

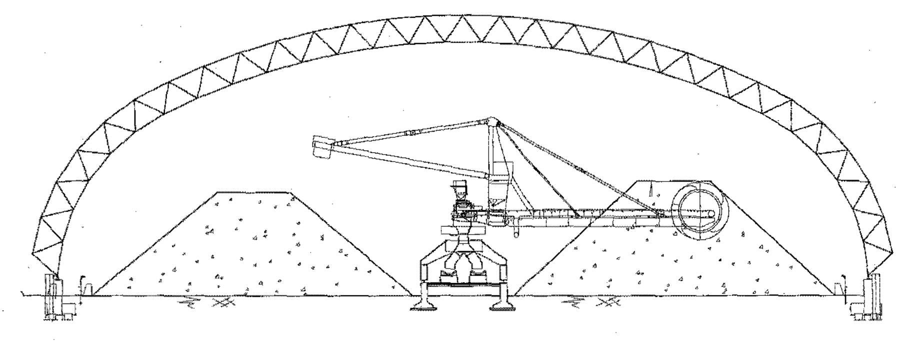


图5-22　条形封闭煤场横剖面图

2. 通风

条形封闭煤场宜采用自然通风方式，以稀释室内聚积的可燃性气体和煤尘，排除煤可能自燃产生的烟气，改善作业人员的工作环境。条形封闭煤场通风换气宜按1～1.5次/h进行设计。两侧的底部设置进风口，顶部一般采用通风器进行排风。

3. 斗轮堆取料机微雾抑尘

在斗轮堆取料机的头部落料点和尾部的受料点设置喷雾除尘装置，控制煤尘的扩散，减少煤尘飞扬。

第五节　转运站、碎煤机室、运煤栈桥及地下运煤廊道通风与除尘

转运站、碎煤机室、运煤栈桥等建筑物的通风（除尘）方法见表5-10。

表5-10　转运站、碎煤机室、运煤栈桥通风（除尘）方法

建筑物	通风与除尘	
	有害物	通风（除尘）方法
转运站	粉尘、有害气体	自然通风、通风除尘、综合控尘
碎煤机室	粉尘、有害气体	自然通风、通风除尘、综合控尘
运煤栈桥	粉尘、有害气体	自然通风
地下运煤廊道	粉尘、潮气、有害气体	自然通风、机械通风

一、转运站通风与除尘

1. 工艺简介

转运站是布置运煤网络、定位运煤去向、燃料中

转运输以及破碎加工的主要建筑物，同时为运煤设备提供必要的布置空间、运行环境和检修场地。

2. 通风

转运站地上部分建筑物当有通向室外的外窗时，夏季通风宜优先考虑采用门、窗自然通风方式；当转运站的门、窗无法满足自然通风条件时，应设置机械排风设施，通风量可按换气次数不少于 5 次/h 计算。

转运站地下部分建筑通风按照地下运煤廊道的通风方式进行设计。

3. 微雾抑尘

转运站微雾抑尘主要设在转运站的扬尘点，如卸料皮带头部漏斗、受料皮带导料槽内部和受料皮带的尾部辊筒，如图 5-23～图 5-25 所示。

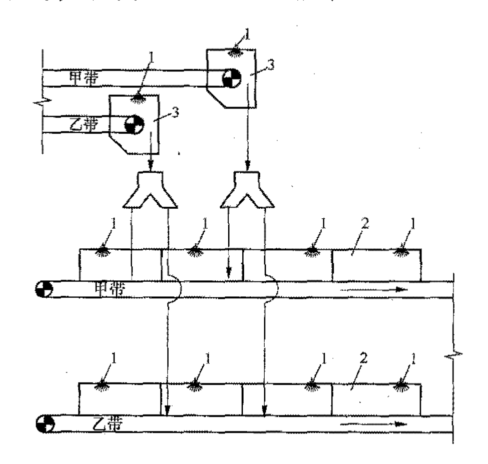


图 5-23　转运站微雾抑尘系统示意图

1—微雾喷嘴；2—容积式密闭导料槽；3—皮带头部密封罩

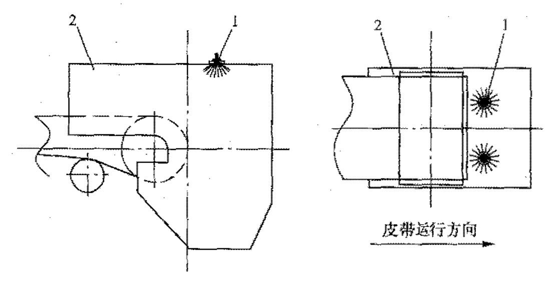
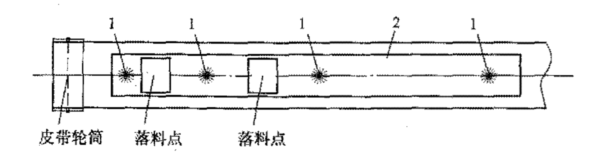


图 5-24　皮带头部喷嘴布置示意图

1—微雾喷嘴；2—皮带头部密封罩

每个转运站宜采用一套微雾抑尘的主机。微雾抑尘系统的压缩空气宜集中设置，并采用管网接至转运站微雾抑尘系统的储气罐。

微雾抑尘系统的水源可以是工业水或水质高于工业水的水源，不宜采用运煤廊道冲洗水经过处理后的回用水作为水源。



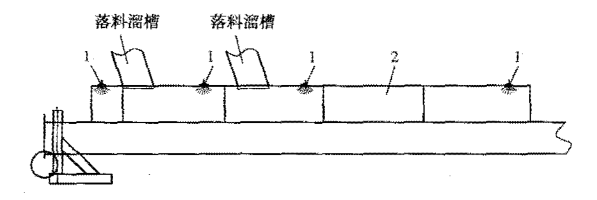


图 5-25　受料皮带导料槽喷嘴布置示意图

1—微雾喷嘴；2—容积式密闭导料槽

4. 通风除尘

运煤皮带落煤点机械通风除尘抽风量计算式为

$$L = L_1 + L_2 \tag{5-10}$$

式中　L——机械通风除尘抽风量，m^3/h；

L_1——随煤流带入导料槽的诱导风量，m^3/h；

L_2——为保持罩内一定负压而由导料槽不严密处吸入的风量，m^3/h。

1）诱导风量 L_1 计算式为

$$L_1 = 3\frac{G_m}{\rho} \times \frac{A_n}{A_m}\Phi \tag{5-11}$$

式中　3——普通单层导料槽所采用的系数；

G_m——运煤皮带机的运煤量，t/h，见表 5-11；

A_n——方形落煤管横断面积，m^2，见表 5-12；

A_m——方形落煤管中煤流横断面积，m^2，见表 5-13；

A_n/A_m——方形落煤管横断面积与煤流横断面积之比，见表 5-14；

Φ——与导料槽的煤流末速度有关的系数；

ρ——煤堆积密度，取 $\rho=0.85t/m^3$。

方形落煤管中煤流横断面积 A_m 为

$$A_m = \frac{V}{3600\rho v_b} \tag{5-12}$$

式中　v_b——皮带运行速度，m/s。

表 5-11　运煤皮带机的运煤量　(t/h)

皮带宽度 B（mm）	皮带运行速度 v_b（m/s）									
	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.5
500	52	64	81	103	129	161				
650	94	118	147	188	235	294				

续表

皮带宽度 B（mm）	皮带运行速度 v_b（m/s）									
	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.5
800	147	184	230	294	368	460	579			
1000	240	300	375	480	600	750	945	1200		
1200		440	549	703	879	1099	1385	1758	2198	
1400		611	763	977	1221	1527	1924	2443	3054	
1600					1616	2021	2546	3233	4041	
1800					2067	2584	3255	4134	5167	6718
2000					2566	3207	4041	5132	6415	8339
2200							5059	6424	8031	10440
2400							6128	7781	9726	12644

注　1．该表是取托辊槽角 λ 为 35°，运行堆积角 θ 为 20°时的计算结果。

2．煤堆积密度取值为原煤的密度，取 ρ=0.85t/m³。

3．倾斜输送机面积折减系数 k 取值为 0.87。

表 5-12　　方形落煤管横断面积

皮带宽度 B（mm）	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
对应方形落煤管尺寸 D（mm）	450	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
方形落煤管横断面积 A_n（m²）	0.20	0.36	0.49	0.64	0.81	1.00	1.21	1.44	1.69	1.96	2.25

表 5-13　　煤流横断面积 A_m　　（m²）

皮带宽度 B（mm）	皮带运行速度 v_b（m/s）									
	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.5
500	0.0211						—	—	—	—
650	0.0385						—	—	—	—
800	0.0601							—	—	—
1000	0.0980								—	—
1200	—	0.1436								—
1400	—	0.1996								—
1600	—	—	—	—	0.2641					—
1800	—	—	—	—	0.3377					
2000	—	—	—	—	0.4193					
2200	—	—	—	—	—	—	0.5249			
2400	—	—	—	—	—	—	0.6357			

注　A_m 值根据式（5-12）计算得到；煤的堆积密度取值为原煤的密度，ρ=0.85t/m³。

由表 5-12 和表 5-13 计算得 A_n/A_m 值列于表 5-14 中。

系数 Φ 与进入导料槽的煤流末速度 v_m 有关，表达式为

表 5-14　　A_n/A_m 值

皮带宽度 B（mm）	方形落煤管尺寸 D（mm）	方形落煤管横断面积 A_n（m²）	煤流断横面积 A_m（m²）	A_n/A_m
500	450	0.20	0.0211	9.48
650	600	0.36	0.0385	9.35
800	700	0.49	0.0601	8.15
1000	800	0.64	0.0980	6.53
1200	900	0.81	0.1436	5.64
1400	1000	1.00	0.1996	5.01
1600	1100	1.21	0.2641	4.58
1800	1200	1.44	0.3377	4.26
2000	1300	1.69	0.4193	4.03
2200	1400	1.96	0.5249	3.73
2400	1500	2.25	0.6357	3.54

$$\Phi = 0.004 v_m \tag{5-13}$$

$$v_m = \sqrt{2gH(1-1.2f\cot\alpha)} \tag{5-14}$$

式中　g——重力加速度，取 9.81m/s²；

H——煤落差，m；

f——煤和方形落煤管壁（钢）的摩擦系数，

取 0.5；

α——方形落煤管与水平面的夹角，(°)。

当落煤管中间有转折时，应对 v_m 进行减速修正。修正的方法是首先按式（5-14）计算出煤通过各转折段的相应之 v'_m、v''_m 和 v'''_m，然后根据相连转折段之间的转折角差从表 5-15 查得减速系数 K_{g1}、K_{g2}，代入式（5-15）、式（5-16）求得修正后的 v_m 值。

$$v_{m1}=\sqrt{(K_{g1}v'_m)^2+v''^2_m} \tag{5-15}$$

$$v_m=\sqrt{(K_{g2}v_{m1})^2+v'''^2_m} \tag{5-16}$$

表 5-15　　落煤管中间有转折时出口速度的减速系数 K_g

落煤管转折形式	转折角差（°）										
	10	20	30	40	45	50	60	70	75	80	90
α	0.97	0.93	0.85	0.75	0.69	0.63	0.45	0.25	0.175	0.10	0.00
α	0.985	0.940	0.866	0.766	0.707	0.643	0.50	0.342	0.259	0.174	0.00

（2）由导料槽不严密处吸入的风量 L_2 计算式为

$$L_2=3600vA \tag{5-17}$$

式中　v——导料槽不严密缝隙的吸风速度，m/s；

A——导料槽缝隙面积之和，m^2，见表 5-16。

$$v=0.81\mu v_m \tag{5-18}$$

式中　μ——流量系数，一般孔口取 0.65。

表 5-16　　导料槽缝隙面积之和

皮带宽度 B(mm)	500	650	800	1000	1200	1400
导料槽缝隙面积之和 A（m^2）	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25	0.29

皮带宽度 B(mm)	1600	1800	2000	2200	2400
导料槽缝隙面积之和 A（m^2）	0.32	0.35	0.40	0.42	0.45

注　导料槽有效缝隙面积的计算条件：①导料槽长度按 9m 计算，侧壁与皮带缝隙按 3mm 考虑；②导料槽出口大部分为钢板封闭，敞开部分设置挡帘，敞开部分约占 30%，计入缝隙面积。

根据上述计算方法，按不同皮带宽度、不同落煤管倾斜角度和不同落差计算出的除尘抽风量 L_1、L_2 列于附录 G。

5. 设计案例

【例 5-1】 已知：皮带带宽为 1200mm，皮带运行速度为 2.0m/s，转运站落煤管如图 5-26 所示，求机械通风除尘抽风量。

首先分别计算各转折段煤的末速度 v'_m、v''_m 和 v'''_m。

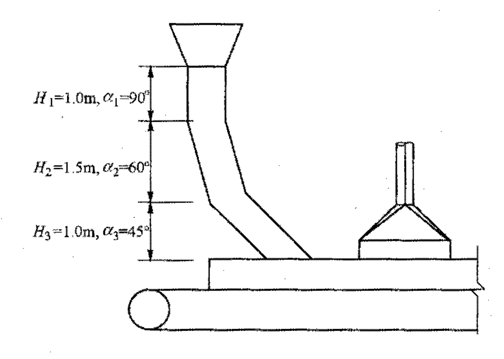


图 5-26　落煤管落煤末速度计算简图

当 α_1=90°，H_1=1.0m 时，v'_m=4.4m/s；

当 α_2=60°，H_2=1.5m 时，v''_m=4.4m/s；

当 α_3=45°，H_3=1.0m 时，v'''_m=2.8m/s。

当 $\alpha_1-\alpha_2$=30°，查表 5-15 得 K_{g1}=0.85；

当 $\alpha_2-\alpha_3$=15°，查表 5-15 得 K_{g2}=0.95。

则

$$v_{m1}=\sqrt{(K_{g1}v'_m)^2+v''^2_m}=\sqrt{(0.85\times4.4)^2+4.4^2}=5.77\ (\text{m/s})$$

$$v_m=\sqrt{(K_{g2}v_{m1})^2+v'''^2_m}=\sqrt{(0.95\times5.77)^2+2.8^2}=6.16\ (\text{m/s})$$

$$\Phi=0.004v_m=0.004\times6.16=0.0246$$

诱导风量 L_1 为

$$L_1=3\frac{G_m}{\rho}\times\frac{A_n}{A_m}\Phi=3\times\frac{879}{0.85}\times5.64\times0.0246=431\ (\text{m}^3/\text{h})$$

从导料槽不严密处吸入的风量 L_2 为

$$v=0.81\mu v_m=0.81\times0.65\times6.16=3.24\ (\text{m/s})$$

$$L_2=3600vA=3600\times3.24\times0.25=2916\ (\text{m}^3/\text{h})$$

则该转运点的机械通风除尘抽风量为

$$L=L_1+L_2=431+2916=3347\ (\text{m}^3/\text{h})$$

二、碎煤机室通风与除尘

1．碎煤机工艺简介

碎煤机是将块状原煤破碎至所需粒度的机械设备。常用的碎煤机有环锤式、反击式、锤击式三种。

（1）环锤式碎煤机。环锤式碎煤机是通过高速旋转转子上的浮动环锤，对煤块进行冲击、挤压、碾磨而使之破碎的设备。这种碎煤机具有能耗低、鼓风量小、结构紧凑等优点。

（2）反击式碎煤机。反击式碎煤机由机体、反击板和带有固定板锤的转子组成。当转子高速旋转时，板锤对煤块冲击，使煤块在转子和反击板之间反复撞击而被破碎。其特点是破碎比大、粒度均匀、破碎能力强。但由于线速度较高、电耗大、零部件磨损快，又因鼓风量大，当密封不严时，煤尘飞扬严重。

（3）锤击式碎煤机。锤击式碎煤机是利用高速旋转转子上的铰接锤，将煤块击碎。这种碎煤机锤头磨损快，检修维护工作量大，粉尘严重。

2．通风

碎煤机室地上部分建筑当有通向室外的外窗时，夏季通风宜优先考虑开门开窗等措施，采用自然通风方式；当无法满足自然通风的条件时，可采用机械通风，通风量可按换气次数不少于 5 次/h 计算。

3．微雾抑尘

碎煤机室的微雾抑尘点主要设在碎煤机上部转运点的头部漏斗、导料槽内部和受料皮带的尾部辊筒。

4．通风除尘

（1）碎煤机室除尘抽风量的确定。碎煤机的除尘抽风量与碎煤机的形式及是否设置煤筛有关，除尘抽风量计算式为

$$L = KL_1 + L_2 + L_3 \tag{5-19}$$

式中　L——碎煤机室除尘抽风量，m^3/h；

K——诱导风量修正系数，装设煤筛时取 0.3～0.5，不装设煤筛时取 1.0；

L_1——随煤流带入导料槽的诱导风量，按式（5-11）计算，也可以从附录 G 中查取，m^3/h；

L_2——为保持罩内一定负压而由导料槽不严密处吸入的风量，按式（5-17）计算，也可以从附录 G 中查取，m^3/h；

L_3——设备运行时出料口的鼓风量，m^3/h，由环锤式碎煤机制造厂家提供鼓风量 L_3，如没有资料时，可参考表 5-17 和表 5-18 中的数据。

表 5-17　KRC 系列环锤式碎煤机负载运行时出料口鼓风量

<table>
<tr><th>序号</th><th>型号</th><th>额定出力（t/h）</th><th>转子直径（mm）</th><th>转子工作长度（mm）</th><th>入料粒度（mm）</th><th>出料粒度（mm）</th><th>转子线速度（m/s）</th><th>动扰力值（kN）</th><th>鼓风量（m³/h）</th></tr>
<tr><td>1</td><td>KRC9×10</td><td>200</td><td rowspan="4">990</td><td>1000</td><td rowspan="8">≤350</td><td rowspan="8">≤25</td><td rowspan="4">51.5</td><td>30</td><td>≤1400</td></tr>
<tr><td>2</td><td>KRC9×12</td><td>300</td><td>1200</td><td>37</td><td>—</td></tr>
<tr><td>3</td><td>KRC9×14</td><td>400</td><td>1400</td><td>42</td><td>≤1600</td></tr>
<tr><td>4</td><td>KRC9×17</td><td>600</td><td>1700</td><td>49</td><td>≤1800</td></tr>
<tr><td>5</td><td>KRC12×18</td><td>700</td><td rowspan="4">1200</td><td>1800</td><td rowspan="4">46.5</td><td>36</td><td>≤1800</td></tr>
<tr><td>6</td><td>KRC12×21</td><td>800</td><td>2100</td><td>39</td><td>≤2000</td></tr>
<tr><td>7</td><td>KRC12×26</td><td>1000</td><td>2600</td><td>52</td><td>≤2500</td></tr>
<tr><td>8</td><td>KRC12×29</td><td>1200</td><td>2900</td><td>56</td><td>≤2800</td></tr>
<tr><td>9</td><td>KRC15×25</td><td>1300</td><td rowspan="3">1500</td><td>2500</td><td rowspan="7">≤400</td><td rowspan="7">≤30</td><td rowspan="3">46.3</td><td>47</td><td>≤2600</td></tr>
<tr><td>10</td><td>KRC15×27</td><td>1500</td><td>2700</td><td>49</td><td>≤2800</td></tr>
<tr><td>11</td><td>KRC15×29</td><td>1700</td><td>2900</td><td>51</td><td>≤3000</td></tr>
<tr><td>12</td><td>KRC18×21</td><td>1600</td><td rowspan="4">1800</td><td>2100</td><td rowspan="4">46</td><td>38</td><td>≤2000</td></tr>
<tr><td>13</td><td>KRC18×26</td><td>1800</td><td>2600</td><td>43</td><td>≤2500</td></tr>
<tr><td>14</td><td>KRC18×29</td><td>2000</td><td>2900</td><td>46</td><td>≤3000</td></tr>
<tr><td>15</td><td>KRC18×31</td><td>2200</td><td>3100</td><td>49</td><td>≤3200</td></tr>
</table>

注　本表摘自 DL/T 512—2014《KRC 系列环锤式破碎机》。

表 5-18 **HS 系列环锤式碎煤机负载运行时出料口鼓风量**

序号	型号	额定出力（t/h）	转子直径（mm）	转子工作长度（mm）	入料粒度（mm）	出料粒度（mm）	转子线速度（m/s）	动扰力值（kN）	鼓风量（m^3/h）
1	HSQ（P）-200	200	1065	905			41.2	19	≤1600
2	HSQ（P）-400	400		1200				26	≤1500
3	HSQ（P）-600	600	1115	1400	≤250	≤25	43.2	31	≤1500
4	HSQ（P）-800	800		1800				44	≤2000
5	HSQ（P）-1000	1000	1220	2085			47.2	48	≤2000
6	HSZ（P）-100	100	800	670			31	14	≤1000
7	HSZ（P）-200	200		815			31	19	≤1600
8	HSZ（P）-400	400		1352				29	≤1500
9	HSZ（P）-600	600	1200	1780	≤350	≤30	46.5	39	≤1500
10	HSZ（P）-800	800		1970				46	≤2000
11	HSZ（P）-1000	1000		2300				51	≤2000
12	HSZ（P）-1200	1200	1370	2592			42.3	45	≤3000
13	HSZ（P）-1400	1400		2665				50	≤3000

注 1. HS 系列环锤式碎煤机型号中的 Q 表示轻型，Z 表示重型，P 表示带有旁路。
2. 本表摘自 DL/T 707—2014《HS 系列环锤式破碎机》。

（2）碎煤机室粉尘控制设施布置如图 5-27 所示。

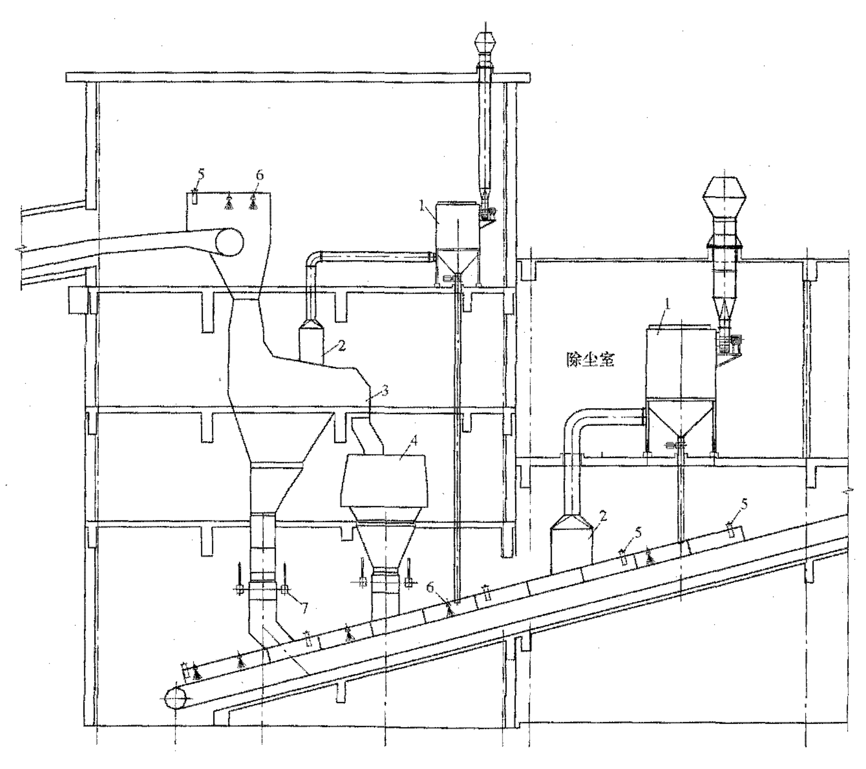


图 5-27 碎煤机室粉尘控制设施布置图

1—除尘器；2—吸尘罩；3—滚轴筛；4—碎煤机；5—密封挡帘；6—微雾喷嘴；7—锁气器

三、运煤栈桥及地下运煤廊道通风

运煤栈桥有通向室外的外窗时，夏季通风宜优先考虑开门开窗等自然通风措施；当栈桥无可开启外窗时，应采用机械排风，在斜升栈桥的上部屋面设置排风机，排风量可按换气次数不少于 5 次/h 计算。

地下运煤廊道夏季通风量宜按换气次数不少于 15 次/h 计算，冬季通风量可按换气次数不少于 5 次/h 计算，以避免增加通风热补偿的负荷。通风系统可采用设置多台排风设备的方式，分季节调整通风设备运行台数以实现上述要求。

通风的进风口，宜设在室外空气较洁净的地点。排风道和进风道均可采用通风竖井。

机械通风设备应满足防爆要求。

第六节　煤仓间通风与除尘

一、工艺简介

煤仓间是指主厂房运煤皮带层及仓间框架。从运煤系统的来煤经煤仓间头部转运点落到煤仓间皮带层的水平皮带上，由犁煤器或移动小车将煤卸到原煤仓内，并保持原煤仓储存锅炉所需 8～12h 的燃煤量。

二、煤仓间转运站通风与除尘

1. 通风

煤仓间转运站的通风设计见第五节中转运站通风设计。

2. 微雾抑尘

煤仓间转运站微雾抑尘设计见第五节中转运站微雾抑尘设计。煤仓间转运站微雾抑尘系统宜与原煤仓微雾抑尘系统合并，共用一套主机。压缩空气宜接自集中气源。

3. 通风除尘

煤仓间转运站通风除尘设计见第五节中转运站通风除尘设计。

三、原煤仓通风除尘

（一）通风

煤仓间皮带层无通向室外的侧窗时，应考虑通风设施，采用自然进风、自然排风或自然进风、机械排风的通风方式。

煤仓间皮带层采用机械通风时，通风量按换气次数 5 次/h 设计，车间内工作区风速不宜大于 0.5m/s。

（二）微雾抑尘

煤仓间微雾抑尘的喷嘴主要布置在犁煤器处，同时要求运煤专业在犁煤器处采取封闭措施。煤仓间微雾抑尘系统示意如图 5-28 所示。

图 5-28 中仅示意了各扬尘点微雾抑尘喷嘴的设置位置，喷嘴的数量应根据煤质情况、煤尘污染状况进行确定。

一般情况下，每个原煤仓落料口可设置 2～3 个喷嘴。双侧犁煤器微雾喷嘴布置示意如图 5-29 所示，单侧犁煤器微雾喷嘴布置示意如图 5-30 所示。

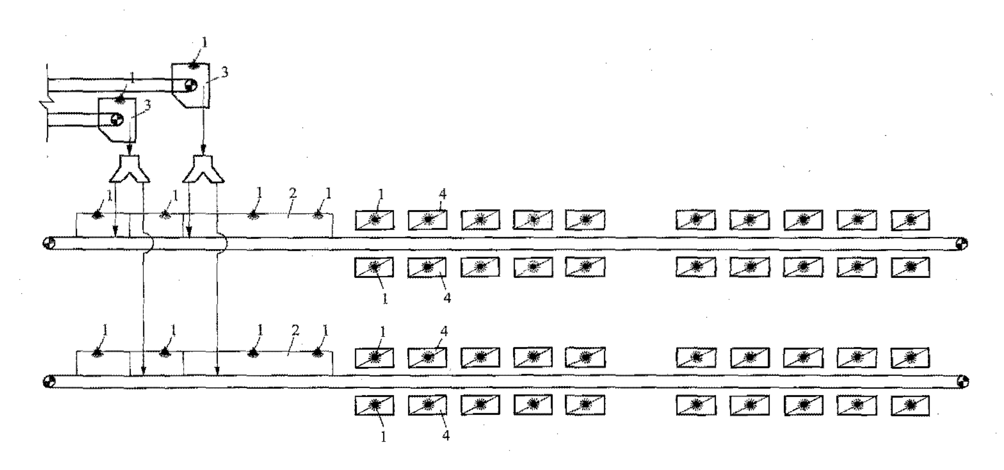


图 5-28　煤仓间微雾抑尘系统示意图

1—微雾喷嘴；2—容积式密闭导料槽；3—皮带头部密封罩；4—卸料口

（三）通风除尘

1. 原煤仓除尘风量计算

原煤仓除尘风量计算式为

$$L = L_a + L_b + L_c \tag{5-20}$$

式中　L——原煤仓除尘风量，m^3/h；

L_a——除尘风机排风从缝隙处吸入原煤仓中的空气量，m^3/h；

L_b——被卸入原煤仓中的煤挤出去的空气量，

m^3/h；

L_c ——煤诱导入原煤仓中的空气量，m^3/h。

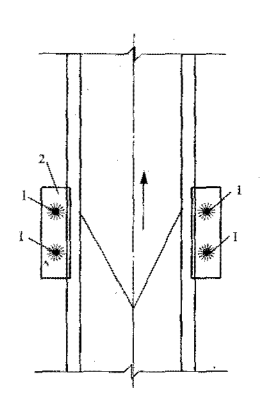


图 5-29 双侧犁煤器微雾喷嘴布置示意图
1—微雾喷嘴；2—卸料口

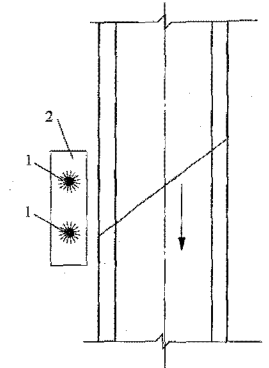


图 5-30 单侧犁煤器微雾喷嘴布置示意图
1—微雾喷嘴；2—卸料口

其中
$$L_a = 3600 v_f A_a \quad (5\text{-}21)$$

式中 v_f ——落煤孔未被封闭孔口处的吸风速度，一般取 0.5～1.0m/s；

A_a ——落煤孔未被封闭的孔口面积，m^2。

$$L_b = \frac{G_m}{\rho} \quad (5\text{-}22)$$

式中 G_m ——运煤量，t/h；

ρ ——煤堆积密度，一般取 0.85t/m^3。

撒料车卸煤时，则

$$L_c = dG_m \quad (5\text{-}23)$$

式中 d ——1m^3 物料所诱导的空气量，m^3/m^3，可由图 5-31 查得。

可逆皮带机或犁煤器卸煤时，则

$$L_c = 2.1\frac{G_m}{\rho} \quad (5\text{-}24)$$

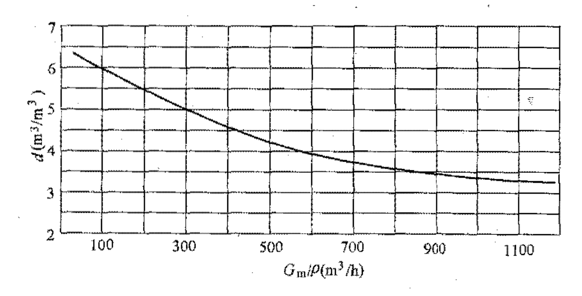


图 5-31 物料量和单位诱导空气量曲线

皮带宽度 500～1400mm 对应的原煤仓除尘风量见表 5-19。

2. 原煤仓除尘设计要点

原煤仓除尘可采用分散式除尘系统或集中式除尘系统，除尘设备的运行应与犁煤器或卸料小车的运行信号联锁。非卸料时原煤仓除尘设备应定期运行，以排除仓内有爆炸可能的甲烷气体。

表 5-19 原煤仓除尘风量 (m^3/h)

皮带宽度（mm）	皮带速度（m/s）	卸煤方式	
		撒煤小车	犁煤器
500	1.6	1400	900
650	1.6	2500	1700
800	1.6	3400	2500
	2	3800	2800
1000	2	5200	4000
	2.5	5800	4600
1200	2	6900	5500
	2.5	7900	6300
1400	2	8900	7300
	2.5	10200	8400

注 煤堆积密度 ρ=0.85t/m^3，吸风面积按同宽度皮带落煤管面积计算，吸风速度 v_f=0.8m/s。

（1）分散式除尘系统。每个原煤仓设置一台除尘器，原煤仓除尘示意如图 5-32 所示。

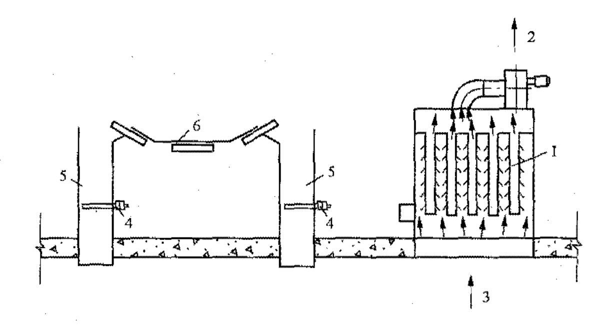


图 5-32 原煤仓除尘示意图
1—除尘器；2—排风口；3—进风口；4—锁气挡板；5—落煤管；6—皮带机

（2）集中式除尘系统。当多个原煤仓合设一套集中除尘系统时，宜每台炉的原煤仓设置一个除尘系统。

除尘系统除尘风量宜按单个原煤仓除尘风量的 1.5～2 倍设计，可采用两台除尘器，一台运行，另一台备用；也可采用一台除尘器，配两台除尘风机，一台运行，另一台备用。

原煤仓单台炉集中除尘系统采用两台除尘器时，除尘系统示意如图 5-33 所示。

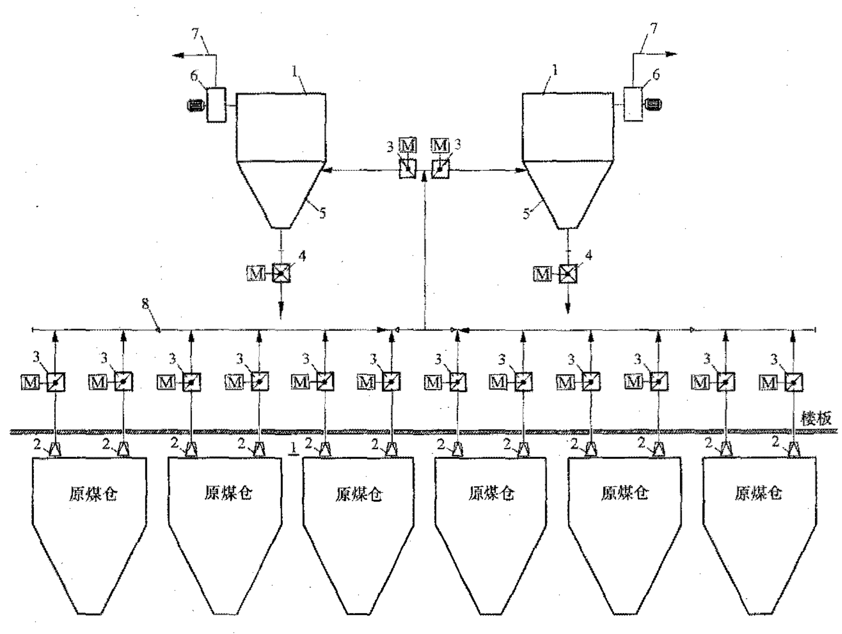


图 5-33　原煤仓集中除尘系统示意图

1—袋式除尘器；2—吸尘罩；3—电动碟阀；4—电动卸灰阀；5—除尘器灰斗；6—防爆式排尘风机；7—排风管；8—变径风管

第七节　煤解冻库设计

一、煤解冻库简介

在寒冷、严寒地区，由于煤的外在水分大，加上长距离运输，经常引起煤与车辆发生冻结。为了便于卸载冻结的煤，用于煤车解冻的车间称为煤解冻库。煤解冻的方式分为蒸汽解冻、热风解冻和红外线解冻三种方式。

1. 煤的冻结

一般电厂燃用的煤可分为三类：原煤、水力开采煤和水洗煤。其中水力开采煤和水洗煤的外在水分一般在 7%以上。冬季在我国北部严寒地区，通过铁路运输外在水分在 7%以上的煤，当运输时间在 3h 左右时，煤和运煤车即可发生冻结现象；当运输时间在 6h 以上时，煤和运煤车发生严重冻结现象，以致煤车到电厂后无法卸车，影响电厂正常运行。煤的冻结与室外气温、煤质水分、车体材料、运煤车在室外运输时间及室外风速等因素有关。煤质水分是影响煤冻结的重要因素，煤的外在水分大，导热系数则大，就易于结冻，因此可根据煤的水分确定其导热系数，由导热系数考虑冻结程度。

钢制车厢比木制车厢易形成结冻，在相同条件下，如室外温度为−14℃，煤温从+4℃左右开始，距车厢外壁 40mm 厚度的煤，钢制车厢在 6h 以内形成冻结，而木制车厢约为 9h，冻结时间相差约 3h。不论是钢制车厢还是木制车厢，侧面煤冻结的速度比底部快，这是由于侧面车厢直接受到室外风速的影响。运煤车中煤的冻结过程是不稳定传热过程，按照不稳定传热有关计算方法和传热学的理论推算煤在运煤车运输途中的冻结程度，见表 5-20、表 5-21。

表 5-20　　钢制车厢中煤的推算煤层温度和冻结深度

室外供暖计算温度（℃）	距离车厢壁不同距离处的煤的温度（℃）									煤的冻结深度（mm）
	20mm	40mm	60mm	80mm	100mm	120mm	140mm	160mm	180mm	
−10	−7.5	−5.5	−3.6	−1.8	−0.3	1.5	3.0	—	—	100
−15	−11.7	−9.0	−6.4	−4.2	−2.2	−0.4	1.4	3.2	—	120
−20	−16.0	−12.5	−9.3	−6.5	−4.0	−1.7	0.4	2.5	—	130
−25	−20.0	−16.0	−12.3	−8.9	−5.9	−3.3	−0.4	2.1	—	150
−30	−24.5	−19.7	−15.4	−11.6	−8.3	−5.2	−0.3	−0.1	2.5	160

注　运煤车速 60km/h，取煤初始温度+5℃，运煤沿途时间按 10h 考虑，煤的外在水分为 10%。

表 5-21　木制车厢中煤的推算煤层温度和冻结深度

室外供暖计算温度（℃）	距离车厢壁不同距离处的煤的温度（℃）									煤的冻结深度（mm）
	20mm	40mm	60mm	80mm	100mm	120mm	140mm	160mm	180mm	
−10	−2.0	−0.5	0.5	2.2	3.3	—	—	—	—	50
−15	−3.4	−1.7	−0.5	1.0	2.0	—	—	—	—	60
−20	−5.5	−3.5	−1.6	−0.4	1.0	2.0	—	—	—	80
−25	−7.5	−5.0	−3.0	−1.3	0.2	1.5	−0.4	2.1	—	100
−30	−11.6	−8.9	−6.4	−4.3	−2.4	−1.0	0.5	1.7	—	130

注　运煤车速 60km/h，取煤初始温度+5℃，运煤沿途时间按 10h 考虑，煤的外在水分为 10%。

2. 解冻过程

解冻库设在铁路支线上，使煤车方便地驶入解冻库。解冻库设有解冻室、设备间、仪表室、配电室、检修间等。解冻库两端安装有折叠式大门，门的大小能允许机车进入。解冻室中间铺设铁路轨道，两侧外墙为砖砌隔热墙，墙厚为 490mm，屋面用珍珠岩保温，并设有排水坡度。解冻库是利用对流和辐射加热原理，通过蒸汽、热风、红外线等解冻方式，有效地将热量传给煤车，使煤在尽可能短的时间内与车厢分离，达到卸煤的目的。

煤解冻分两个过程：煤车进入解冻库之前先进行预热，使解冻库内达到设计温度；当煤车进入解冻室就位后，加热过程开始，直到达到解冻要求。

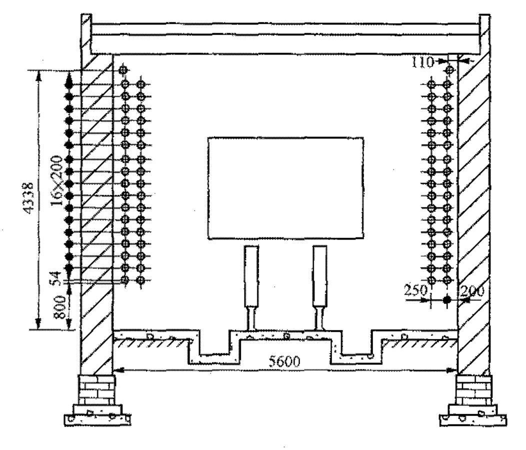


图 5-34　蒸汽排管式解冻室断面图

二、蒸汽解冻室设计

1. 设计原理

蒸汽解冻室是以蒸汽作为热媒，排管为加热设备，以空气被排管加热后的自然对流为主，排管辐射传热为辅，进行加热煤车的解冻方式。

2. 设计与设备布置

（1）蒸汽解冻室设计参数。热媒为 0.8MPa 饱和蒸汽，解冻室上部温度为 100℃，下部温度为 70℃，煤车解冻厚度平均为 150mm，解冻时间约为 6h。

（2）加热设备设计。加热设备为ϕ108×4mm 无缝钢管焊制的排管加热器，长度为 4000、6000mm，排管加热器、阀门和管道及其部件公称压力为 2.5MPa。

（3）蒸汽解冻室建筑结构。解冻室为无窗砖结构，外墙为隔热墙，厚为 490mm，屋面采取保温措施，最大传热系数 $K \leqslant 1.0$W/（m^2·℃）。解冻室内设有控制室，用于遥测和控制系统的操作。室内设有排水沟和检修运行通道。

（4）系统布置。排管加热器布置在解冻室的两侧，采用双排或多排布置，加热系统采用同程式。解冻室设有单独的凝结水回收装置，解冻室长度方向应设置温度测点，测点分上、中、下均匀分布。蒸汽排管式解冻室断面如图 5-34 所示。

三、热风解冻库设计

1. 设计原理

热风解冻室以蒸汽作为热媒，以空气加热器为主要加热设备，由风机带动室内空气通过空气加热器循环加热，部分空气由室外吸入，排管作为辅助加热设备加热室内空气。因此热风解冻是采用热风强制对流为主、排管辐射传热为辅的煤车解冻方式。

2. 设计与设备布置

热风解冻室设计参数：热媒为 0.6MPa 饱和蒸汽，热风送风温度为 120℃，室外新风量占 10%，室内回风量占 90%，解冻室上部温度为 100℃，下部温度为 70℃，煤车解冻厚度平均为 150mm，解冻时间为 3h，平均每节煤车耗汽量 1t/h。

加热设备间位于解冻库中间，布置在解冻室二层。空气加热器、风机均布置在设备间内。热风系统采用下送上回方式，送、回风道均为混凝土风道，送风口布置在解冻室下部、煤车两侧，与地面垂直成 45°角，风口为特制钢风口，风口内侧设有调节挡板，挡板上下移动可调节风口的风量和风速，风口处的风速一般为 8～12m/s。回风口布置在解冻室上部煤车中轴线上。在解冻库大门处设置大门热风幕。解冻室沿长度

方向每隔 20m 左右，设温度测点一组，各上下两点，风机出口管道内设温度测点一个，并将温度信号引到控制盘上，便于值班人员监视解冻室的温度和风机出口处的温度，进行相应的调节。在空气加热器的供汽管上设有电动调节阀，其开度显示在控制盘上，运行人员可在盘上通过电动阀调节解冻室的室内温度。热风解冻室断面如图 5-35 所示。

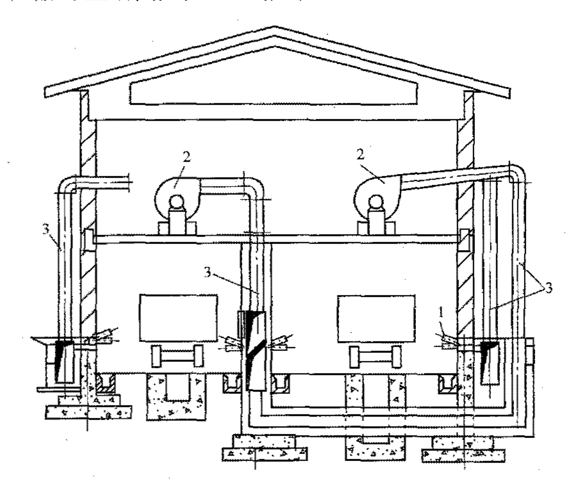


图 5-35　热风解冻室断面图

1—送热风喷嘴；2—送风机；3—送风道

四、红外线解冻库设计

1. 设计原理

红外线解冻分为电红外线解冻和煤气红外线解冻两种。红外线辐射加热解冻不同于蒸汽解冻和热风解冻，它不需通过中间介质（如空气、液体等）的传热和对流加热方式，而是由热源直接发射电磁波传递热量。热量直接辐射到受热体，辐射加热的能量与辐射体温度差的四次方成正比（对流加热的能量与温度差的一次方成正比），能量损失少，热效率高。红外线加热器分别布置在煤车两侧及底部和底部斜面处。钢制车厢辐射强度取 64～70W/（m^2·min），木制车厢辐射强度要控制在 35W/（m^2·min）。解冻速度取 0.1℃/min 作为平均值，红外线解冻方式对煤车解冻是快速有效的，如煤初始温度为-7.5～-24.5℃，解冻深度为 20mm 时，若辐射强度为 64～70W/（m^2·min），则解冻速度为 1.4～2.5℃/min；若辐射强度为 35W/（m^2·min），则解冻速度为 0.3～0.394℃/min。

2. 电红外线解冻室

电红外线解冻室加热用的加热器，是选用板状远红外线辐射加热器，功率为 1kW/块，红外波长为 2～15μm。电源接自厂用 6kV 母线，经 6kV 电缆送到用于解冻室的 6kV/380V 解冻用变压器。

电红外线解冻室断面如图 5-36 所示。

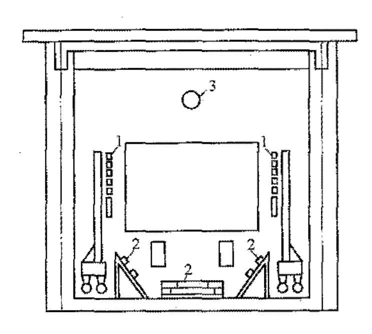


图 5-36　电红外线解冻室断面图

1—侧面电红外线辐射器；2—底部电红外线辐射器；3—喷水管

3. 煤气红外线解冻库

燃煤火力发电厂煤气红外线解冻库的气源一般有两种：一种来自附近的化工厂或焦化厂，另一种来自厂内煤气站。厂内煤气站可以同时供化学水处理的石灰处理系统的用气和厂内住宅生活用气。

煤气红外线解冻库设计应注意如下问题：

（1）解冻库两侧应设有通道，通道应进行通风换气，换气次数为 15 次/h。

（2）通道屋顶上设有排风机，外侧墙上设有带密闭阀的进风百叶窗。

（3）要注意安全防爆问题，风机电动机采用防爆型，在库内设置可燃气体检测报警系统，要有可靠的点火系统，煤气调压装置采用全自动型。

（4）在解冻过程中控制和关闭部分底部辐射器，减轻对于车辆制动装置的影响。煤气红外线解冻室断面如图 5-37 所示。

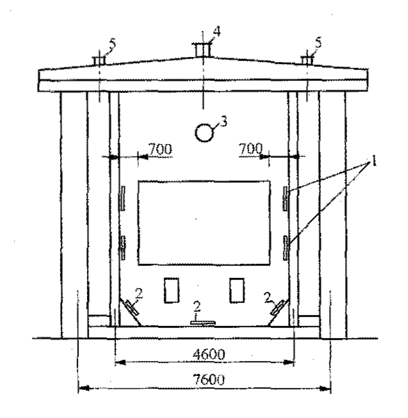


图 5-37　煤气红外线解冻室断面图

1—侧墙辐射器；2—底部辐射器；3—喷水管；

4—高温防爆风机；5—屋顶排风机

五、解冻库的耗热量计算

1. 围护结构耗热量

围护结构耗热量 Q_1 的计算与建筑物围护结构供暖耗热量的计算相同。计算时解冻室内温度取 100℃。

2. 加热煤需要的热量

加热煤需要的热量计算式为

$$Q_2 = 0.28\frac{m_2 c_2 (t_2 - t_c)}{\tau} \quad (5\text{-}25)$$

其中 $m_2 = nV\rho_c(100 - M_f) \times 1000$ （5-26）

式中 Q_2——加热煤需要的热量，W；

c_2——煤的比热容，在0～100℃时，取0.9196 kJ/（kg·℃）；

t_2——解冻后煤层的平均温度，取5℃（试验数据）；

t_c——冻煤的平均温度，取−5～−10℃（试验数据）；

τ——解冻时间，一般取6～8h；

m_2——冻煤量，kg；

n——解冻的车皮数量，节；

V——每节车皮中需解冻的冻煤体积（一般以化冻厚度为150mm计算），m^3；

ρ_c——煤的密度，取0.91t/m^3；

M_f——煤的外在水分，%。

3. 加热及熔化冰需要的热量

加热及熔化冰需要的热量计算式为

$$Q_3 = 0.28\frac{m_3[c_3(t_0 - t) + r_3]}{\tau} \quad (5\text{-}27)$$

其中 $$m_3 = \frac{m_2 M_f}{100 - M_f}$$

$c_3 = 4.18 \times (0.56 + 0.0007t)$ （5-28）

式中 Q_3——加热及熔化冰需要的热量，W；

m_3——冰的质量，kg；

c_3——冰的比热容，kJ/（kg·℃）；

t——冰的温度，$t = t_c$，℃；

t_0——冰的融化温度，取0℃；

r_3——冰的溶解热，取334.9kJ/（kg·℃）。

4. 加热煤中外在水分需要的热量

加热煤中外在水分需要的热量计算式为

$$Q_4 = 0.28\frac{m_3 c(t_2 - t_0)}{\tau} \quad (5\text{-}29)$$

式中 Q_4——加热煤中外在水分需要的热量，W；

c——水的比热容，取4.18 kJ/（kg·℃）。

5. 蒸发煤中外在水分需要的热量

蒸发煤中外在水分需要的热量计算式为

$$Q_5 = 0.28\frac{g m_3 r}{\tau} \quad (5\text{-}30)$$

式中 Q_5——蒸发煤中外在水分需要的热量，W；

g——水的蒸发量，取0.1；

r——水的汽化潜热，取2679.6kJ/（kg·℃）。

6. 车辆的吸热量

车辆的吸热量计算式为

$$Q_6 = \frac{0.28 q_6 n\{m_s c_s (t_s - t_{ow}) + m_w c_w [t_w - (t_{ow} - 10)]\}}{\tau_1} \quad (5\text{-}31)$$

式中 Q_6——车辆的吸热量，W；

q_6——第一个小时的吸热量占总吸热量的比例取0.5；

n——车皮数，节；

m_s——每节车皮金属材料的质量，kg；

c_s——金属材料的比热容，取0.4807kJ/（kg·℃）；

t_s——金属材料加热后温度，取65℃（试验数据）；

t_{ow}——室外供暖计算温度，℃；

m_w——每节车皮木板的质量，kg；

c_w——木板的比热容，取2.717kJ/（kg·℃）；

t_w——木板加热后温度，取50℃（试验数据）；

τ_1——解冻的第一个小时，$\tau_1 = 1$h。

7. 解冻库总耗热量

解冻库总耗热量计算式为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (5\text{-}32)$$

式中 Q——解冻库总耗热量，W。

六、三种解冻方式的特点

1. 蒸汽解冻方式

蒸汽解冻方式是20世纪60年代开始使用的解冻方式，它的优点是对煤车及其零部件无损害，热源采用蒸汽，对于电厂比较方便。但它致命的缺点是解冻时间长，一般在6h左右，如此长的解冻时间即影响锅炉正常用煤，又严重积压车辆。

2. 热风解冻方式

热风解冻方式具有蒸汽解冻的优点，对于木制车厢、钢制车厢都较实用，解冻时间相对有所减少，一般在3h左右，但是这样的解冻时间对于电厂的实际运行还是不够理想。

3. 红外线解冻方式

（1）电红外线解冻方式。电红外线解冻方式速度快，适合于对钢制车厢解冻，对钢制车厢及部件无损害。但当辐射强度超过一定值时，对车体及其部件有一定影响，如使三通阀和制动气缸造成泄漏、软管破裂剥离、车体油漆受到损害等。对木制车厢有一定影响，如车厢被烤焦等。这种解冻方式运行成本高。

（2）煤气红外线解冻方式。煤气红外线解冻方式需要煤气发生站或引入天然气气源。另外，当辐射强度超过一定值时，煤气红外线解冻对车体及其部件有一定影响，如使三通阀和制动气缸造成泄漏、软管破裂剥离、车体油漆受到损害等。但这种解冻

方式具有解冻速度快，比电红外线解冻运行成本低等优点。

几种解冻方式解冻一节车皮的技术指标见表5-22。

表5-22 几种解冻方式解冻一节车皮的技术指标

技术指标	蒸汽解冻	热风解冻	电红外线解冻	煤气红外线解冻
热能耗量（MW）	0.7	0.7	0.6	0.6
煤气耗量（标准状况下，m^3）	—	—	—	200
蒸汽耗量（t）	1	1	—	—
用电量（kW）	5	55	600	30
解冻时间（h）	6	4	2	2

注 1. 解冻深度40mm，室外供暖计算温度-30℃。
2. 标准状况下，煤气最低热值为15000kJ/m^3。

第八节 燃料管理与控制中心通风、空气调节与除尘

一、工艺简介

燃料管理与控制中心系统综合运用射频识别技术、自动化技术、网络技术，为电厂燃料系统提供从计划、采购、合同、调运、计量、接卸、采样、验收、存储、掺配、结算到统计分析等全流程精细化管理服务，实现燃料管理的自动化、数字化、信息化，杜绝管理漏洞，减少人为因素的影响，保证数据的准确性，提高工作效率。

燃料管理与控制系统的软件部分设在燃料管理与控制中心的监控中心或办公室内，硬件部分主要有接样室、制样室、制样存样室和与制样室配套的除尘设备间，规模较大的燃料管理与控制中心还纳入了原布置在化验楼的一些房间，如入厂煤检验所需的水分分析室、元素分析室、工业分析高温室、量热仪室、灰熔融室、天平室等化验室或实验室，以及办公室、会议室和淋浴间、气瓶间等辅助用房。

燃料管理与控制中心一般布置在靠近入厂煤刚进入厂区的附近。

原煤采样和制样的目的，是为了获得一个能代表整批被采样煤的试验煤样。采样和制样的基本过程，是首先从分布于整批煤的许多点收集相当数量的煤，即初级子样，然后将各初级子样直接合并或缩分后合并成一个总样，最后将此总样经过一系列制样程序制成所要求数目和类型的试验煤样。

采样的基本要求是被采样煤样的所有颗粒都可能进入采样设备，每一个颗粒都有相等的概率被采入试样中。

二、通风

实验室、化验室应根据工艺要求设置通风系统，通常采用自然进风、机械排风系统。房间机械排风量按换气次数不小于6次/h确定。

根据通风柜工作面吸风口风速要求和吸风口面积确定通风量，工作口风速不宜小于0.5m/s，保证试验时柜内的气体和粉尘不外溢即可。一般情况下，设置了通风柜的实验室和化验室可利用通风柜排风。

电气配电室按夏季室内温度不大于40℃、送排风温差不大于15℃时排除室内余热所需的通风量计算。

煤制样间应设置机械排风系统，通风量按换气次数不小于10次/h确定。

三、空气调节

监控中心、天平室、元素分析室、水分分析室等，可根据工艺要求设置空气调节装置。

夏季室内空气调节设计参数：温度26～28℃，相对湿度不大于70%。

四、除尘

制样间制备煤样的过程中，需要分级破碎、筛分、缩分等制备工艺，会在设备内部产生一定量的粉尘，为避免粉尘从设备或连接处的不严密处泄漏，制备煤样的各设备配置了一套除尘系统。

除尘系统一般由煤样制备设备的生产厂家提供，采用袋式除尘器或滤筒式除尘器，除尘风量在6000m^3/h左右，排放浓度不大于50mg/m^3，排气筒高出除尘器所在建筑物屋面5m以上。

第九节 石灰石系统通风与除尘

在燃煤火力发电厂，通常在循环硫化床锅炉炉内脱硫和烟气脱硫中用到石灰石。

一、石灰石系统粉尘控制

（一）工艺流程

燃煤火力发电厂中使用石灰石作为一种脱硫剂，一般采用石灰石原料破碎加工或者直接购买加工好的成品石灰石粉，由仓泵送入石灰石粉仓或锅炉炉膛。

（1）在循环硫化床锅炉炉内的脱硫系统中，通常情况下粒度不大于40mm的石灰石采用汽车运输，直接堆至石灰石棚。石灰石由翻斗车铲至地下给料斗，经斗式提升机送至石灰石原料仓，再通过立式辊压碾磨（辊轮旋转、衬板静止、辊衬间隙可调的立式料层

粉碎方式）的磨机连续制备成粉，并通过具有一级风力选分功能的选分系统分选出合格的成品石灰粉（一般为粒度不大于 1.5mm），由斗式提升机输送至石灰石成品粉仓内，最后通过气力输送至锅炉内。

（2）在烟气脱硫系统中，通常情况下粒径不大于 20mm 的石灰石块由汽车卸至石灰石地下给料斗，通过石灰石地下给料斗送至振动给料机，然后由斗式提升机送入石灰石料仓，石灰石块通过称重皮带输送机送入湿式球磨机，制出石灰石浆液，再有石灰石浆液泵送至吸收塔，用于脱硫。

（二）粉尘控制点说明

在循环流化床锅炉炉内的脱硫系统中，石灰石地下给料斗，石灰石原料仓和石灰石粉成品仓，以及石灰石的转运点、破碎点均需要采取粉尘控制措施。而在烟气脱硫系统中，石灰石地下给料斗、石灰石原料仓需要采取粉尘控制措施。通常情况下，石灰石系统采用机械除尘和微雾抑尘措施，除尘器一般采用袋式除尘器。

（三）微雾抑尘

当石灰石转运点和破碎点完全封闭时，可以不设微雾抑尘设施。当石灰石转运点和破碎点与运煤转运站和碎煤机室的设置相同时，可以采用微雾抑尘和机械除尘相结合的方案。

石灰石地下给料斗可以采用微雾抑尘与机械除尘相结合，以更好地控制粉尘外溢。微雾抑尘示意如图 5-38 所示。

（四）通风除尘

1. 石灰石转运站、破碎点和石灰石料仓除尘风量选择

石灰石转运站和破碎点的除尘风量的选取与运煤系统转运站和碎煤机室除尘点风量的选择相同，详见第五节中有关转运站和碎煤机室的粉尘控制设计方案。石灰石料仓（石灰石原料仓和石灰石粉成品仓）除尘风量的选取与原煤仓除尘风量的选择相同，见第六节中原煤仓通风除尘。

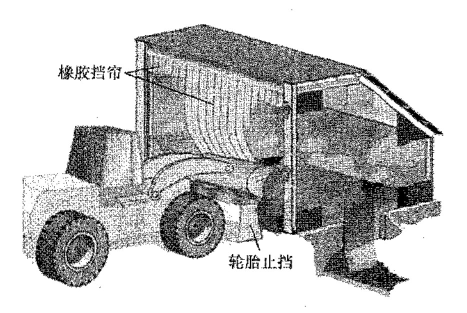


图 5-38　石灰石地下给料斗微雾抑尘示意图

2. 石灰石地下给料斗除尘风量选择

根据经验，目前烟气脱硫系统石灰石地下给料斗处的除尘风量采用 20000m³/h。

国外关于地下给料斗的通风除尘风量，可以通过公式计算得来。美国职业健康与安全学会（NIOSH）在《工业物料开采与加工过程的粉尘控制手册》中给出的公式可用于计算风量时参考，即

$$L = 33.3 \times \frac{600m}{\rho} \tag{5-33}$$

式中　L——排风量，ft^3/min；

m——被倾倒物料的质量，t/min；

ρ——物料密度，lb/ft^3。

换算成国际单位后

$$L = 124.6 \times \frac{600m}{\rho} \tag{5-34}$$

式中　L——排风量，m^3/h；

m——被倾倒物料的质量，t/h；

ρ——物料密度，kg/m^3。

地下给料斗通风除尘示意如图 5-39 所示。

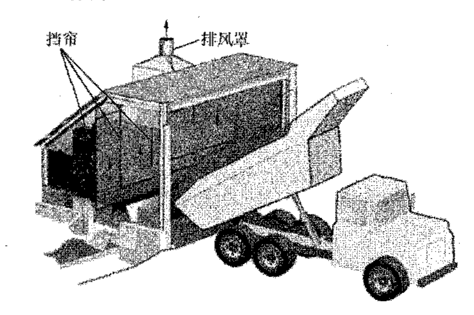


图 5-39　地下给料斗通风除尘示意图

二、石灰石棚通风

目前根据环保要求，石灰石棚采用全封闭形式，以减少环境污染。全封闭的石灰石棚需要设通风设施，通风宜采用自然进风、自然排风方式。进风采用百叶窗，排风采用屋顶高侧窗或屋顶通风器。

第十节　粉尘控制设备选择及系统设计

运煤系统粉尘控制设备是指利用各种粉尘控制机理如重力沉降、惯性沉降、表面加湿、过滤、静电等除尘方法实现抑制煤尘飞扬、加速煤尘沉降、分离含尘气体中煤尘的设备统称。根据使用场所的不同，不同机理的粉尘控制设备可单独使用或组合使用。

用于运煤系统的粉尘控制设备包括容积式密闭导料槽、除尘器和微雾抑尘三类。容积式密闭导料槽降尘装置从降尘原理上可以划为机械式除尘器类中的重力式除尘器和惯性式除尘器，但又与重力式除尘器和惯性式除尘器存在明显的差别，它不是一个完全密封

的处理粉尘的整体，而必须和皮带输送机之间建立一种滑动密封。除尘器按除尘机理的不同可以分为机械式除尘器和静电式除尘器。微雾抑尘在不同场合起到不同的作用，可以单独使用，用于敞开空间的无组织尘源粉尘抑尘；也可以配合导料槽降尘装置或除尘器一起使用，起到抑尘、加速降尘的初级除尘作用。

粉尘控制设备的选择，其实是粉尘控制效率、设备处理能力、设备投资费用和动力消耗之间的平衡。对燃煤发电厂而言，煤种因素是影响粉尘控制设备选择的最大影响因素，如入厂煤的煤种变化、粒径变化、外在水分变化及配煤的比例等，都会对运行中的粉尘控制设备的控尘效率产生极大的影响，其结果会影响到对这些设备的使用评价。

一、除尘器的分类、性能及适用条件

（一）除尘器的分类

除尘器根据粉尘净化机理的不同，分为以下四类：

（1）机械式除尘器。利用质量力（如重力、惯性力、离心力等）的作用使颗粒物与气流分离沉降的装置。包括重力沉降室、惯性除尘器和旋风除尘器等。这类除尘器的特点是结构简单、造价低、维护方便，但除尘效率不高，往往用于除尘粒径较大、除尘效率要求不高的场合，或用作多级除尘系统中的前级预除尘。

（2）过滤式除尘器。包括袋式除尘器、滤筒式除尘器和颗粒层除尘器等，其特点是以过滤机理作为主要的除尘机理，使含尘气流通过织物或多孔的填料层进行过滤分离的装置。根据选用的滤料、颗粒层和设计参数不同，袋式除尘器可以达到较高的除尘效率。

（3）湿式除尘器。利用液滴或液膜洗涤含尘气流使粉尘与气流分离沉降的装置，包括文丘里水膜式除尘器、多管冲击式除尘器、冲激式除尘器等。这类除尘器的特点是一般用水作为除尘介质，除尘效率较高，缺点是会产生含尘污水，需进行处理，以消除二次污染。

（4）静电除尘器。利用静电力作为捕尘机理的装置，包括干式静电除尘器（干法清灰）和湿式静电除尘器（湿法清灰）。这类除尘器的特点是除尘效率高，尤其是湿式电除尘，消耗动力少，主要缺点是占地面积大、钢材消耗多、一次性投资高。

（二）除尘器的性能

常用除尘器的性能参数见表5-23。

表5-23　　常用除尘器的性能参数

除尘器类型		净化程度	最小捕集粉尘粒径（μm）	入口粉尘浓度（g/m^3）	阻力（Pa）	除尘效率（%）
重力沉降室		粗净化	＞40	＞2	50～130	＜50
惯性除尘器		粗净化	＞20	＞2	300～800	50～70
中效旋风除尘器		粗、中净化	＞20	＞0.5	400～800	60～85
高效旋风除尘器		中净化	5～10	＞0.5	1000～1500	80～90
袋式除尘器	机械振打清灰	细净化	＞0.05	＜15	800～2000	＞99
	脉冲喷吹清灰					
	大气反吹清灰					
冲激式除尘器		各种净化	100～0.05	＜15	1200～2000	＞99
静电除尘器		细净化	＞0.05	＜30	200～300	＞99

（三）除尘器的评价指标

除尘器的性能评价包括技术和经济两个方面。技术方面主要有处理气体流量、除尘效率和压力损失等，经济指标主要有设备费、运行费、占地面积和使用寿命等。

1. 除尘效率

除尘效率分为总除尘效率、分级除尘效率和穿透率三种，分别从不同方面对除尘器的净化能力进行技术评价。

（1）总除尘效率。总除尘效率是指含尘气流通过除尘器时，被捕集下来的不同粒径的粉尘量总和占进入除尘器的粉尘量之比的百分数η。

$$\eta=\frac{m_c}{m_i}\times100\% \tag{5-35}$$

式中　m_c——被捕集的粉尘量，kg/h；

m_i——进入除尘器的粉尘量，kg/h。

如果进入除尘器的粉尘含量很高，或者采用多种方式进行预除尘时，多种除尘方式串联使用，每一级的除尘效率分别为η_1、η_2、η_3、…则总除尘效率计算式为

$$\eta=[1-(1-\eta_1)(1-\eta_2)(1-\eta_3)\cdots]\times100\% \tag{5-36}$$

（2）分级除尘效率。分级除尘效率是指除尘器捕

集某一粒径或某一粒径范围内的粉尘的净化能力，更能代表除尘器在捕集细小颗粒物方面的净化能力，是评价除尘器的主要性能指标。常用除尘器的分级除尘效率见表 5-24。

表 5-24　常用除尘器的分级除尘效率

除尘器类型		不同粒径的分级除尘效率（%）		
		50μm	5μm	1μm
重力沉降室		96	16	3
惯性除尘器		95	26	3
中效旋风除尘器		94	27	8
高效旋风除尘器		96	73	27
袋式除尘器	机械振打清灰	＞99	＞99	99
	脉冲喷吹清灰	～100	＞99	99
	大气反吹清灰	～100	＞99	99
冲激式除尘器		～100	93	40
静电除尘器		＞99	99	86

（3）穿透率。除尘效率是从被捕集的粉尘角度来评价除尘器性能，穿透率则是从未被除尘器捕集的粉尘角度来评价除尘器的性能，穿透率用符号 P 表示。穿透率与除尘效率之间的关系用式（5-37）表示，即

$$P=(1-\eta)\times100\% \qquad (5\text{-}37)$$

穿透率反映出除尘器排入大气的粉尘总量，也是代表除尘器在净化细小颗粒物方面的能力。举例来说，一台除尘器的除尘效率为 99%，另一台同样风量的除尘器的除尘效率为 99.5%，虽然除尘效率只提高了 0.5%，但它们的穿透率分别为 1%和 0.5%，即排入大气的粉尘总量可以减少一半。

对入口含尘浓度较高、粉尘粒径小、除尘效率高于 99.6%的高效除尘器，除尘效率每提高 0.1%或者穿透率降低 0.1%，除尘设备需要付出很高的经济成本。

2. 压力损失

压力损失是评价除尘器性能的重要技术指标，压力损失的大小，不仅取决于除尘装置的种类和结构形式，还与处理含尘气体流量的大小有关。根据除尘器的阻力大小（见表 5-25），除尘器可以分为低阻、中阻除尘器和高阻除尘器。

表 5-25　除尘器的阻力

除尘器类型	阻力范围（Pa）	代表性除尘器
低阻除尘器	＜500	重力沉降室、惯性除尘器、电除尘器等
中阻除尘器	500～2000	旋风除尘器、袋式除尘器、湿式除尘器等
高阻除尘器	＞2000	高能型文丘里除尘器

（四）除尘器的适用条件

根据一些国外资料的介绍，在煤炭开采、加工处理或燃煤火力发电厂运煤系统使用的除尘器，对除尘器入口含尘浓度范围、粉尘粒径范围作了界定，见表 5-26～表 5-28（摘自参考文献［19］）。

表 5-26　除尘器入口含尘浓度范围　(g/m^3)

轻度	中度	重度
＜4	4～10	＞10

表 5-27　除尘器入口粉尘粒径范围

细	中等	粗
50%为 0.5～7μm	50%为 7～15μm	50%大于 15μm

表 5-28　燃煤火力发电厂运煤系统除尘器的适用性

除尘器		煤炭加工	煤仓通风	除尘、空气净化	煤热力干燥
		含尘浓度			
		中度	中度	重度	中度
		粉尘粒径			
		中等	细	中等～粗	细
旋风除尘器		很少	偶尔	偶尔	很少
高效旋风除尘器		偶尔	经常	经常	偶尔
湿式除尘器	中压型	偶尔	偶尔	偶尔	经常
	高能型	未广泛采用	未广泛采用	未广泛采用	偶尔
自清灰袋式除尘器		采用	采用	采用	未广泛采用
静电除尘器（高电压型）		不适合	不适合	不适合	不适合
静电除尘器（低电压型）		不适合	不适合	不适合	不适合

二、粉尘控制设备选择

（一）容积式密闭导料槽

容积式密闭导料槽是利用了重力除尘器和惯性除尘器的原理，实现转运站落料扬尘点的最初级粉尘控制，保证大颗粒物的沉降。

传统的导料槽是根据标准图选择，其特点：一是导料槽容积小，煤在下落过程中产生诱导气流，形成较大的内部压力，由于导料槽内部空间狭小，易造成诱导气流的外泄，造成工作场所的粉尘污染；二是导料槽与后续串联使用的除尘器在设计环节上是两个各自独立的设备，在实际运行中，导料槽与除尘器两者之间不能很好地匹配运行，因导料槽内部空间狭小，

容易形成较高的气流速度，在诱导气流的作用下，在导料槽中形成二次扬尘，造成除尘器入口粉尘浓度超过允许范围，进而导致除尘器的失效。因此，需扩大原有导料槽的内部空间，推广、使用容积式密闭导料槽。

对煤粉锅炉的运煤系统，容积式密闭导料槽断面积可按表 5-29 选用，当煤尘外在水分不大于 4%时，断面积建议附加 20%。

表 5-29 容积式密闭导料槽断面积

带宽（mm）	导料槽断面积（m^2）	带宽（mm）	导料槽断面积（m^2）
500	0.25	1600	0.8
650	0.32	1800	0.9
800	0.4	2000	1.0
1000	0.5	2200	1.05
1200	0.6	2400	1.2
1400	0.7		

容积式密闭导料槽的长度一般不低于 9m。在实际设计中，应根据具体情况及控制粉尘的性质进行延长、优化。

容积式密闭导料槽与带式输送机之间的滑动密封是保证降尘效果的因素之一，选择滑动密封方式时应注意其结构的密封性能、使用寿命以及对皮带运行的影响。

（二）旋风除尘器

旋风除尘器是利用含尘气体在旋转中所产生的离心力，将粉尘从气流中分离出来的一种干式气固分离装置。它对于捕集、分离 5～10μm 以上的粉尘效率较高，被广泛地应用于处理干式粉尘的工业部门。

1. 旋风除尘器的特点

（1）结构简单。除尘器本体无运动部件，不需特殊的附属设备，占地面积小，制造、安装投资较少。

（2）操作、维护简便。压力损失中等，动力消耗不大，运转、维护费用较低。

（3）操作弹性较大，性能稳定，不受含尘气体的浓度、温度限制。

因旋风除尘器的分离、捕集过程是一种极为复杂的三维、二相气流运动，其设备的结构不同、几何尺寸的差异，或气、固两相本身物理性质的差异，操作条件的变化等因素，都对其主要性能（效率、压力损失）有显著的影响。

2. 工作原理

旋风除尘器的结构如图 5-40 所示。当含尘气流以 12～25m/s 速度由进气管进入旋风除尘器时，气流将由直线运动变为圆周运动。旋转气流的绝大部分沿器壁自圆筒体呈螺旋形向下朝锥体流动，通常称为外旋气流。

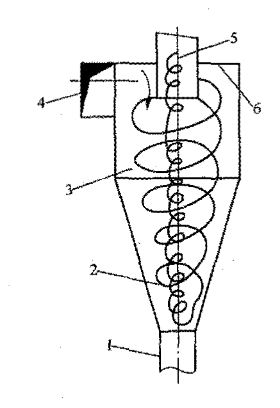


图 5-40 旋风除尘器的结构图

1—排灰管；2—圆锥体；3—圆筒体；4—进气管；5—排气管；6—顶盖

含尘气体在旋转过程中产生离心力，将密度大于气体的尘粒甩向器壁。尘粒一旦与器壁接触，便失去惯性力，靠入口速度的动量和向下的重力沿壁面下落，进入排灰管。旋转下降的外旋气流在到达锥体时，因圆锥形的收缩而向除尘器中心靠拢。根据旋转矩不变原理，其切向速度不断提高。当气流到达锥体下端某一位置时，以同样的旋转方向从旋风除尘器中部，由下而上继续做螺旋形流动，即内旋气流。最后净化气体经排气管排出除尘器外，部分未被捕集的细小尘粒也由此逃失。

自进气管流入的另一小部分气体，则向旋风除尘器顶盖流动，然后沿排气管外侧向下流动。当到达排气管下端时，即反转向上随上升的中心气流一同从排气管排出。分散在这一部分上旋气流中的尘粒也随同被带走。

（三）袋式除尘器

1. 工作原理

袋式除尘器依靠编织的或毡织的滤布作为过滤材料达到分离含尘气体中粉尘的目的。其工作原理是粉尘通过滤布时产生的筛分、惯性、黏附、扩散和静电等作用而被捕集。小型外滤式扁袋式除尘器结构及原理如图 5-41 所示。

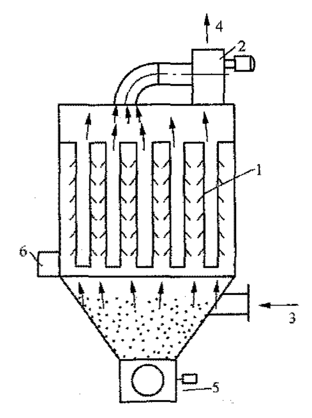


图 5-41 小型外滤式扁袋式除尘器结构及原理图

1—过滤扁袋；2—风机；3—含尘空气入口；4—干净空气出口；5—排料器；6—机械振打装置

2. 种类

（1）按清灰方式分类。常用袋式除尘器可以分为机械振打袋式除尘器、脉冲喷吹袋式除尘器、大气反吹袋式除尘器。

（2）按滤袋形状分类。按滤袋形状分为圆袋式和扁袋式，大部分袋式除尘器采用的是圆袋式滤袋。圆袋式直径一般为 120～300mm，袋长为 2～12m。扁袋式通常呈平板型，一般宽度为 0.5～1.5m，长度为 1～2m，厚度为 25～50mm，袋之间的间距为 25～50mm。扁袋式过滤袋布置紧凑，可以在同样的除尘器外形内布置较多过滤面积的滤袋，一般可增加 20%～40%的过滤面积，但扁袋的结构复杂，制作要求高，换袋工作量大，滤袋之间容易积尘。

（3）按过滤方向分类。按含尘气体过滤方向，袋式除尘器分为内滤式和外滤式，内滤式是含尘气体由滤袋内向滤袋外流动，粉尘被分离在滤袋内。外滤式是含尘气体由滤袋外向滤袋内流动，粉尘被分离在滤袋外，大部分袋式除尘器采用的是外滤式过滤方式。

（4）按除尘器内的压力分类。按除尘器内的压力分为正压式和负压式。动力装置布置在袋式除尘器前面，采用鼓风送入含尘气体的是正压式袋式除尘器。动力装置布置在袋式除尘器后面，吸出已被净化气体的是负压式袋式除尘器。负压式袋式除尘器的风机吸入的是经过净化后的气体，风机叶片的磨损较小，使用寿命长，是运煤系统除尘器经常采用的类型。

3. 滤料

滤料按制作方法分为纺织滤料、无纺滤料、复合滤料、陶瓷纤维滤料等。按制作材质分为天然纤维滤料、合成纤维滤料和无机纤维滤料。目前，常用纤维滤料的主要性能见表 5-30。

表 5-30　　常用纤维滤料的主要性能

类别	原料或聚合物	商品名称	密度（g/cm^3）	最高使用温度（℃）	长期使用温度（℃）	耐磨性	耐热性		耐有机酸	耐无机酸	耐碱性	耐氧化剂	耐溶性
							干热	湿热					
合成纤维	聚酰胺	尼龙、锦纶	1.14	120	75～85	很好	较好	较好	一般	很差	较好	一般	很好
	芳香族聚酰胺	诺梅克斯	1.38	260	220	很好	很好	很好	较好	较好	较好	一般	很好
	聚丙烯腈	腈纶	1.14～1.16	150	110～130	较好	较好	较好	较好	较好	一般	较好	很好
	聚丙烯	聚丙烯	1.14～1.16	100	85～95	较好	较好	较好	很好	很好	较好	较好	较好
	聚乙烯醇	维尼纶	1.28	180	<100	较好	一般	一般	较好	很好	很好	一般	一般
	聚氯乙烯	氯纶	1.39～1.44	80～90	65～70	差	差	差	很好	很好	很好	很好	较好
	聚四氟乙烯	特氟纶	2.3	280～300	220～260	较好	较好	较好	很好	很好	很好	很好	很好
	聚酯	涤纶	1.38	150	130	很好	很好	一般	较好	较好	较好	较好	很好
无机纤维	铝硼、硅酸盐、玻璃	玻璃纤维	3.55	315	250	很差	很好	很好	很好	很好	差	很好	很好
		经硅油、聚四氟乙烯处理的玻璃纤维		350	260	一般	很好	很好	很好	很好	差	很好	很好
		经硅油、石墨和聚四氟乙烯处理的玻璃纤维		350	300	一般	很好	很好	很好	很好	很好	很好	很好

注　本表摘自参考文献［6］。

4. 过滤风速

袋式除尘器的入口含尘浓度宜小于 $20g/m^3$，其过滤风速应根据除尘器的入口含尘浓度、粉尘性质和排放浓度要求等确定，对煤尘污染严重的场所，袋式除尘器过滤风速不宜超过 1.2m/min。常用袋式除尘器的过滤风速见表 5-31。

表 5-31　　常用袋式除尘器的过滤风速　　（m/min）

机械振打清灰	大气反吹清灰	脉冲喷吹清灰
≤0.6	≤0.6	≤1.2

（四）湿式除尘器

1. 文丘里水膜式除尘器

文丘里水膜式除尘器由文丘里管 1、分离器 2、水封 3 及其附件组成，分为立式和卧式两种，立式文丘里水膜式除尘器结构及原理如图 5-42 所示。

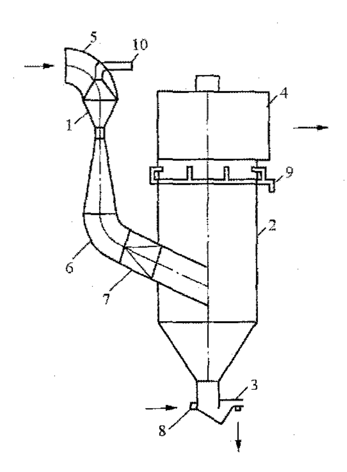


图 5-42　立式文丘里水膜式除尘器结构及原理图
1—文丘里管；2—分离器；3—水封；4—出风口；5—进风弯管；6—弯管；7—变径管；8—水封进水管；9—分离器进水管；10—文丘里管进水管

含尘气流经过进风弯管 5 高速进入文丘里管 1 的渐缩管，使煤尘具有较高的速度，煤尘与文丘里进水管 10 相连的喷嘴射出来的水流相遇，煤尘气流携带水流进入文丘里管的喉部，这时水流被气流雾化，煤尘与雾滴混合碰撞，结合成为灰滴。含尘气流进入渐扩管，速度降低，静压增加，尘粒凝聚为较大的颗粒经过弯管 6、变径管 7 进入分离器 2，在分离器 2 的圆筒内，离心力使湿润的尘粒甩向筒壁，分离器进水管 9 通过布水器在筒内壁形成水膜，粉尘颗粒由水膜收集流入下部的水封 3 中，被净化后气体经过出风口 4 排出分离器。

2. 多管冲击式除尘器

多管冲击式除尘器结构及原理如图 5-43 所示，含尘气体由进风口进入后，由于断面扩大，在惯性碰撞和重力作用下，较大的粉尘颗粒被挡灰板 1 阻挡后下落被除掉，较小的粉尘颗粒随气流进入联箱 2，经过送风管 3 后，以较高的速度从喷头 4 内喷出，冲击液面卷起大量的水滴，气水充分接触，尘粒被水滴湿润黏附，一部分细小尘粒被水捕获，另一部分细小湿润的尘粒黏附到挡水板 5 和 6 并顺壁流下，从而使气体得到净化。

含尘气体的整个除尘过程是在负压状态下进行的，而液面的高度由溢流管 7 和水位控制仪 11 控制。

净化气体用的水在使用一定的时间后，由于水中

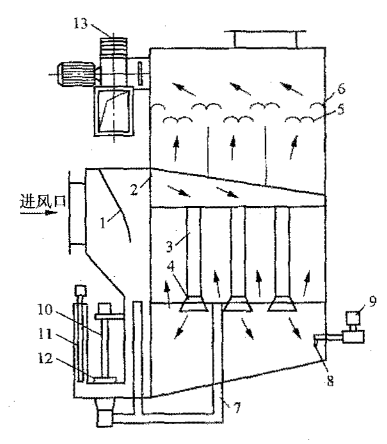


图 5-43　多管冲击式除尘器结构及原理图
1—挡灰板；2—联箱；3—送风管；4—喷头；5—第一挡水板；6—第二挡水板；7—溢流管；8—冲洗喷头；9—电磁阀；10—电动推杆；11—水位控制仪；12—密封装置；13—离心风机

含有大量的粉尘而需更换，更换水时，由电动推杆 10 将排水口外的活塞提起，含有大量粉尘的污水经排水口排出。当污水基本排完后，水位控制仪 11 控制设在进水总管上的电磁阀 9（或电动阀）开启（供水压力为 0.05～0.2MPa），水通过进水管由设在除尘器箱体下部的冲洗喷头 8 喷出，将箱体底部冲洗干净，然后电动推杆将活塞放下，排水口关闭，箱体内的水面上升。待水面上升到除尘所需高度时，水位控制仪 11 控制电磁阀 9 关闭，让水中断，箱体内多余的水由溢流管 7 排出，此时除尘器可进入工作状态。

3. CCJ 型冲激式除尘器

CCJ 型冲激式除尘器结构及原理如图 5-44 所示。含尘气体由通风机吸入除尘器入口 1，气流转弯向下冲击于水面，部分较大的尘粒进入水中。当含尘气体以 18～35m/s 的速度通过上、下叶片间的 S 形通道 5 时，激起大量的水花，与水气充分接触，绝大部分微细的尘粒混入水中，使含尘气体得以充分的净化。经由 S 形通道 5 后，由于离心力、重力的作用，获得尘粒的水又回漏斗。净化后的气体由分雾室外挡水板 6 除掉水滴后经净气出口由通风机排出除尘器，泥浆则由漏斗的排浆阀定期排出。补水则由供水管 4 补充。机组内的水位由溢流箱 11 控制，当水位高出溢流堰时，水便流进水封并由溢流管 9 排出。设在溢流箱 11 上的水位控制器 8 能保证水面在 3～5mm 的范围内变动，从而保证机组高效运行和节约用水。溢流箱 11 上部用通气管 7 与净气分雾室连通，使两者具有相同高度的水面。溢流箱 11 的水是通过插入除尘器下部的连通管 15 连通的，以保持溢流箱 11 水面平稳。

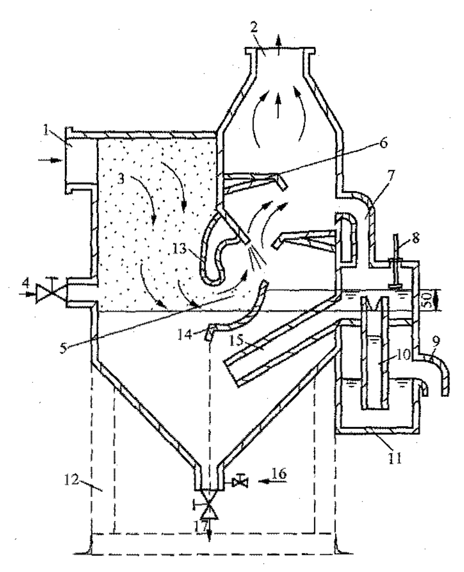


图 5-44 CCJ 型冲激式除尘器结构及原理图

1—含尘气流入口；2—净化后空气排除口；3—进气室；4—供水管；5—S 形通道；6—挡水板；7—通气管；8—水位控制器；9—溢流管；10—水封；11—溢流箱；12—机组支架；13—上叶片；14—下叶片；15—连通管；16—冲洗水进口；17—排泥浆出口

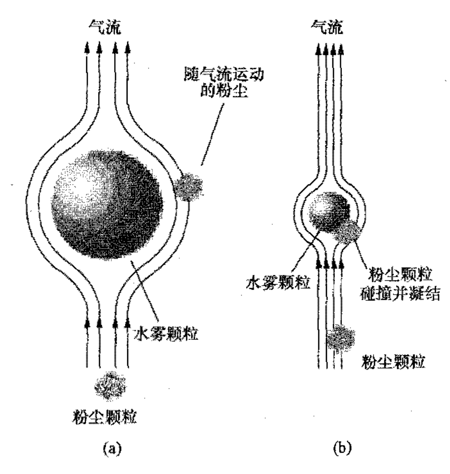


图 5-45 水喷雾与微雾抑尘机理对比图

（a）水喷雾抑尘；（b）微雾抑尘

（五）微雾抑尘设备

1. 抑尘机理

传统的水喷雾抑尘采用的水源压力较低，一般控制在 0.4MPa 左右，产生的雾滴粒径为 100～500μm，喷嘴雾化效果较差；而悬浮在空中不易沉降的粉尘一般都小于几十微米，是粉尘控制的主要对象，两者之间在空间中的滞留时间相差很大，由表 5-3 可知，在静止空气中降落 1m 所需时间：5μm 的煤尘降落时间为 1510s，50μm 的煤尘降落时间为 15s，而 500μm 的煤尘降落时间仅为 0.16s。其差距非常巨大，如水雾颗粒的直径大于或远大于粉尘颗粒，其粉尘颗粒与水雾颗粒的接触机会较少，达不到凝并沉降的目的。图 5-45（a）中，粉尘颗粒仅仅包围在水雾周围气流的边缘，水雾颗粒和粉尘颗粒接触很少或者根本没有接触；图 5-45（b）中，水雾颗粒和粉尘颗粒相似或者相同，在密度相差不大的情况下，沉降速度接近，水雾颗粒与尘埃颗粒接触的机会就会非常大，发生凝并、结团沉降的可能性就越大。

2. 设备组成

根据微雾发生机理的不同，分为单流体微雾和双流体微雾，单流体微雾一般是通过柱塞泵将水加压到 5～7MPa，通过喷嘴雾化后形成微雾；双流体微雾一般采用渐缩渐扩型的拉法尔喷嘴，通过压缩空气在喷嘴中引射水，在喷嘴喉口处气流速度可以达到音速，经过声波震荡后形成气雾。

单流体微雾抑尘系统由柱塞泵、水过滤器、水管路、喷嘴及控制系统组成。

双流体微雾抑尘系统由压缩空气系统、储气罐、微雾发生机、水气分配器、气水管路、末端喷雾装置及控制系统组成。

三、运煤系统通风除尘

1. 除尘系统风量的确定

（1）转运站的除尘风量由落料管落料产生的诱导风量和从导料槽不严密处吸风量两部分组成，具体数值可从附录 G 中查取。

（2）碎煤机的除尘风量按转运站除尘风量与碎煤机鼓风量之和计算，碎煤机鼓风量根据碎煤机型号，由表 5-17、表 5-18 查取。

（3）原煤仓、筒仓上部扬尘点除尘风量可按表 5-19 查取或按式（5-20）计算。

2. 除尘系统设计

（1）当运煤系统转运站为双路皮带时，每路皮带宜单独设置一套除尘系统，当两路皮带合用一套系统时，其风量按一路皮带运行所需风量附加 15%～20% 计算，并在风管上设置切换阀。

（2）对于多层转运站，在条件允许时，各层同时工作的吸风点宜合设一个除尘系统，其除尘风量应按其全部吸风点同时工作计算。

（3）两点或多点合用一套除尘器的除尘系统，其各吸尘管路应尽可能使其阻力平衡，各环阻力差应不大于 10%。

（4）多点吸风的除尘系统，各吸风点宜设置斜插板阀，以便系统初始运行时阻力调整。阀门不宜装在水平管段上。

（5）除尘系统应设测量孔以便检测流量、含尘浓度等，测量孔应设在气流平稳、便于操作的直管段上。

在倾斜或水平风道侧面、三通管侧面或风道端部应有清扫孔。

3. 除尘风道

（1）除尘风道应采用圆形风道，其接口和焊缝应严密。

（2）风道直管段一般采用厚度为 1.5～2.0mm 钢板制作；异形管及其部件可采用 2.5～3.0mm 钢板制作，风道直径不宜小于 100mm。

（3）风道应尽量垂直或倾斜布置，倾斜风道与水平倾斜角一般不小于 45°。

（4）风道支管宜从主风道上面或侧面连接，风道三通夹角宜采用 15°～45°。小坡度或水平敷设的管段应尽量避免或缩短，并应采取防止积尘的措施。

（5）在异形管附近，应设置密封清扫孔。

（6）除尘风道的最小风速：垂直风管为 11m/s，倾斜风管为 15m/s，水平风管为 17m/s。

（7）除尘风道的支吊架间距：风道直径小于 375mm 的为 4m，风道直径为 375～1000mm 的为 3m。

4. 吸尘罩

（1）吸尘罩的外边缘到落煤管外边缘之间的距离不应小于皮带宽度。

（2）沿煤流前进方向导料槽出口到吸尘罩外边缘之间的距离不应小于皮带宽度的 1.5 倍。

（3）同一条皮带有两个落煤点时，在导料槽上宜装设 2 个吸尘罩。

（4）有条件时，皮带尾部增加吸尘点。

（5）罩面风速可根据粉尘粒度的分布控制在 0.5～2.0m/s。对循环流化床锅炉，罩面风速宜小于 1.2m/s。

（6）罩面风速为 1.2～2.0m/s 时，吸尘罩罩面高度不宜低于 1.0m；罩面风速小于 1.2m/s 时，吸尘罩罩面高度不宜低于 0.7m。

（7）吸尘罩的天圆地方与水平夹角不宜小于 45°。

5. 排气筒

（1）排气筒的高度及排放速率应满足国家现行有关大气污染物排放标准的要求，且不应低于 15m。

（2）排气筒的出口风速宜为 15～20m/s，排气筒出口设置排风帽。

（3）排气筒宜设置用于监测的采样孔和监测平台。

四、运煤系统微雾抑尘系统设计

1. 设计原则

（1）煤种的外在水分在 7%及以下时，运煤系统宜设置微雾抑尘装置。

（2）微雾抑尘装置总喷雾量不超过物料总质量的 0.5‰。

（3）翻车机、汽车卸煤区、叶轮给煤机、堆取料机、转运点及原煤仓落料口等局部扬尘点，应根据煤尘特性设置微雾抑尘系统。

（4）翻车机地上部分、汽车卸煤区以及灰库装车区域等易受环境风速影响的区域应根据实际情况合理采取防风设施，保证喷雾浓度、粒径和喷雾量，避免造成粉尘扩散。

（5）灰库的落灰口不宜设置微雾抑尘。

（6）根据粉尘特性、扬尘点扬尘量的评估、设备布置和运行经济可靠性等原则，一个扬尘区域采用一套微雾抑尘系统或多个相邻扬尘区域共用一套微雾抑尘系统，翻车机、汽车卸煤区域等瞬时扬尘量大、使用时间不统一的区域，应设置独立的微雾抑尘系统。

2. 喷嘴选择

微雾抑尘系统的喷嘴应根据使用场所对喷雾系统的要求进行选择，易受环境风速影响的露天和半露天场所及瞬时起尘量较大的场所，宜采用小喷雾角度锥状射流喷嘴，保证射流的速度和较远的射程，封闭较好、粉尘起尘量较小的空间采用大角度锥状射流喷嘴。

采用双流体微雾抑尘系统时，喷嘴技术参数及适用扬尘点见表 5-32。

表 5-32　　微雾抑尘装置喷嘴技术参数及适用扬尘点

喷嘴类型	雾滴（μm）	雾长（m）	耗水量（L/min）	水压（MPa）	耗气量（m^3/min）	气压（MPa）	备　注
20°喷雾角喷嘴	1～10	3～6	0.67～0.83	0.055～0.06	0.2～0.3	0.3～0.5	适用于半露天环境或瞬间扬尘量大的场所：翻车机、汽车卸煤、抓斗卸料口
40°喷雾角喷嘴	1～10	2～4	0.5～0.67	0.06～0.08	0.17～0.25	0.5～0.6	适用于封闭环境或重度污染的场所：皮带头部、碎煤机、筛分机、振动给煤机等
60°喷雾角喷嘴	1～5	1～2	0.17～0.33	0.17～0.25	0.08～0.15	0.5～0.6	适用于封闭环境或连续中等扬尘的场所：容积式密闭导料槽

3. 设备要求及管路布置

（1）微雾抑尘装置在运煤系统室内布置时，微雾发生机的防爆性能应满足 GB 15577—2007《粉尘防爆安全规程》的要求，防护等级达到 IP55。

（2）微雾抑尘主机设备外表面宜采用不锈钢或采取防腐处理措施。

（3）微雾抑尘系统的管道布置应结合现场实际，以不妨碍运行人员通行为原则；明装管道应考虑设置防止温

度变化和振动产生的伸缩和变形的技术措施，直线布置管道宜互相平行；曲线布置管道宜等距并行，曲率半径相等。

4. 水源

（1）微雾抑尘系统对水质的要求较高，宜采用电厂工业水或水质高于工业水的水源，不宜采用运煤系统冲洗水经过处理后的回用水。水质应符合水悬浮物浓度不超过 50mg/L，氯化物浓度不超过 250mg/L，pH 值为 6.5～8.5，总硬度不超过 450mg/L 的要求。

（2）供水水源应连续稳定，在微雾抑尘设备接入点处的压力为 0.4～0.6MPa，水源压力稳定。供水流量不低于系统正常工作时所需耗水量的 1.5 倍。

五、集中压缩空气供给系统设计

当采用压缩空气作为袋式除尘器的清灰方式和使用压缩空气作为微雾抑尘产生微雾的动力时，推荐采用集中压缩空气供给系统。

集中压缩空气供给系统满足下列技术要求：

（1）从空气压缩机站集中引出压缩空气管道供运煤除尘系统和微雾抑尘系统使用。

（2）火车卸煤和汽车卸煤区域的微雾抑尘是间歇运行，运行周期短，瞬时耗气量和耗水量大，与其他区域的运行时间不同步，因此，翻车机和汽车卸煤区用压缩空气宜单独设置压缩空气系统。

（3）压缩空气系统对微雾抑尘装置的供气能力宜按微雾抑尘装置总耗气量的 1.2 倍配置。

（4）微雾抑尘装置用压缩空气压力为 0.6～0.8MPa，保证喷嘴前压力为 0.5MPa。脉冲喷吹清灰袋式除尘器用压缩空气压力为 0.5～0.7MPa，压缩空气应经除油、除水等净化处理，并安装空气过滤器。

（5）集中供给压缩空气时，在各转运站设置压缩空气储气罐，储气罐容积按每分钟同时总耗气量的 1/2～1/3 选用。

（6）集中输送的压缩空气管道宜采用碳钢管，压缩空气流速范围为 8～15m/s。

六、主要除尘抑尘设备技术数据

1. CCJ/A 系列冲击式除尘器性能参数

CCJ/A 系列冲击式除尘器的性能参数见表 5-33。

2. DCC 系列多管冲击式除尘器性能参数

DCC 系列多管冲击式除尘器的性能参数见表 5-34。

3. MC 系列脉冲袋式除尘器性能参数

MC 系列脉冲袋式除尘器的性能参数见表 5-35。

4. SLT 系列和 SLS 系列微米级干雾抑尘装置性能参数

SLT 系列和 SLS 系列微米级干雾抑尘装置的性能参数见表 5-36。

5. 脉冲喷吹袋式除尘器压缩空气耗量

脉冲喷吹袋式除尘器压缩空气耗量见表 5-37。

6. 各类湿式除尘器耗水量指标

各类湿式除尘器耗水量指标见表 5-38。

表 5-33　　CCJ/A 系列冲击式除尘器的性能参数

项　目		型　号					
		CCJ/A-5	CCJ/A-7	CCJ/A-10	CCJ/A-14	CCJ/A-20	CCJ/A-30
额定风量（m^3/h）		5000	7000	10000	14000	20000	30000
本体阻力损失（kPa）		1.0～1.2	1.0～1.6				
净化效率（%）		>97					
耗水量（kg/h）	蒸发	17.5	24.5	35.0	49.0	75.0	105
	溢流	150	210	300	420	600	900
	排灰	425	600	860	1200	1700	3400
排风机功率（kW）		5.5	7.5	15	15	22	37

表 5-34　　DCC 系列多管冲击式除尘器的性能参数

项　目	型　号							
	DCC-4	DCC-7	DCC-11	DCC-14	DCC-19	DCC-24	DCC-33	DCC-40
设计风量（m^3/h）	4800	7200	10800	14400	19200	24000	33600	38400
设备阻力（Pa）	1600～2000							
除尘效率（%）	>99							
充水容积（m^3）	0.72	0.98	1.43	1.88	3.08	3.78	5.2	5.9

续表

项　目		型　号							
		DCC-4	DCC-7	DCC-11	DCC-14	DCC-19	DCC-24	DCC-33	DCC-40
设备净重（kg）		1280	1557	1921	2345	3322	3849	4743	5245
耗水量（kg/h）	蒸发	16.8	25.2	37.8	50.4	67.2	84	118	135
	溢流	70	84	100	120	144	175	210	250
	排灰	720	980	1430	1880	3080	3780	5200	5900
排风机功率（kW）		7.5	7.5	15	15	30	30	55	55

注　设备净重不包括除尘风机。

表 5-35　　MC 系列脉冲袋式除尘器的性能参数

项　目	型　号					
	MC48	MC60	MC72	MC84	MC96	MC120
处理风量（m^3/h）	2160～2592	2700～3240	3270～3888	3775～4536	4325～5184	5400～6480
过滤风速（m/min）	1.0～1.2					
过滤面积（m^2）	48	60	72	84	96	120
本体阻力（Pa）	1200～1500					
除尘效率（%）	＞99					
入口含尘浓度（标准状况下，g/m^3）	3～15					
脉冲阀数量（个）	8	10	12	14	16	20
清灰耗气量（m^3/min）	0.14～0.56	0.18～0.7	0.21～0.82	0.25～1.0	0.28～1.1	0.35～1.4

表 5-36　　SLT 系列和 SLS 系列微米级干雾抑尘装置的性能参数

项　目	型　号			
	SLT-1C	SLT-2C	SLS-60C	SLS-30C
设计最大耗气量（m^3/min）	＜32	＜52	＜6.6	＜3.3
设计最大耗水量（L/min）	＜96	＜156	＜16	＜8
喷雾箱个数	＜16	＜26	—	—
万向节个数（USL07 型）	—	—	≤60	≤30
水雾颗粒直径（μm）	≤10			
工作环境温度（℃）	−25～+50			
空气压缩机功率（kW）	≤55	≤90	≤45	≤22
储气罐容积（m^3）	≤5	≤10	≤2	≤1
空气压缩机电源	AC 380V			
干雾机电源	AC 220V			
干雾机控制方式	自动/手动			

续表

项　目	型　号			
	SLT-1C	SLT-2C	SLS-60C	SLS-30C
防冻措施	含			
防护等级	IP55			
供气压力（MPa）	0.6～0.8			
供水压力（MPa）	0.4～0.6			
供水悬浮物浓度（mg/L）	≤50			
供水酸碱性 pH 值	6～8			
干雾机质量（kg）	400	500	320	260

表 5-37　　脉冲喷吹袋式除尘器压缩空气耗量

除尘器型号	处理风量（m^3/h）	喷吹空气量（m^3/min）
−24A	3240～4320	0.07～0.15
−24B	3240～4320	0.07～0.15
−36	4950～6480	0.11～0.22
−48	8480～8630	0.15～0.3

续表

除尘器型号	处理风量（m^3/h）	喷吹空气量（m^3/min）
–60	8100～10890	0.18～0.37
–72	9720～12900	0.22～0.44
–34	11300～15100	0.25～0.5
–96	12900～17300	0.29～0.58
–108	14600～19400	0.33～0.66
–120	16200～21600	0.37～0.73

注　喷吹压力为0.6～0.7MPa；滤料为尼毛特2号；喷吹空气中已考虑附加系数；当采用涤纶208或其他滤料时，可根据制造厂实际压缩空气耗量来确定。

表5-38　各类湿式除尘器耗水量指标

湿式除尘器形式	耗水量指标 q（kg/m^3）
喷淋式洗涤器	0.4～2.7
卧式旋风水膜除尘器	0.02～0.075
鼓泡式除尘器、水浴式除尘器	0.1～0.3
冲激式除尘器	0.12
泡沫除尘器	0.15～0.3
文氏管（中、低压）	0.15～0.6
文氏管（高压）	0.2～0.8

注　耗水量指标 q 为各类湿式除尘器每立方米风量的小时耗水量。

第六章

化学建筑供暖通风与空气调节

第一节　化学水处理系统概述

火力发电厂化学水处理的目的就是防止工艺设备结垢、腐蚀、积盐，确保工艺系统运行安全，提高火力发电厂运行效率，提高水资源综合利用水平，降低力发火电厂用水量，保护环境。随着火力发电厂建设水平的不断提高，热力系统参数越来越高，机组容量越来越大，对各类水质的要求也越来越高。同时，随着全社会对环境保护和水资源综合利用越来越严，对火力发电厂各种废水处理也提出了更高的要求。

火力发电厂化学水处理系统的主要任务有两个：一是为火力发电厂生产工艺系统提供各种合格的工业用水，二是将火力发电厂生产过程中产生的各类废水进行合理处理后回收利用。

常规的火力发电厂化学水处理系统主要包含锅炉补给水处理系统，凝结水精处理系统，热力系统的化学加药、汽水检测和取样系统，冷却水处理系统，氢气系统，氧气系统，废水处理系统，再生水深度处理系统，海水淡化处理系统，油处理系统。

1. 锅炉补给水处理系统

锅炉补给水处理的目的是应用各种水处理单元的组合去除原水中残存的各类溶解杂质，并根据不同用水点的水质要求提供所需的水量。通常情况下，生物控制和悬浮物、胶体物质与重金属等的去除，主要通过原水净化处理的化学加药、澄清、介质过滤和/或膜过滤工艺完成；而溶解固形物的去除则利用离子交换和/或膜工艺完成。

锅炉补给水处理系统包括锅炉补水系统和热网补给水处理系统。在火力发电厂的热力系统中，汽、水是连续循环的。设备和管道系统中水的排放、蒸发和泄漏，会造成汽、水损失，为保持平衡，就必须向系统中补充损失的水量。

锅炉补给水处理系统设置的建筑物通常有预处理间、除盐间、酸碱库及酸碱计量间、各种药品储存及加药间、控制室等。如果预处理采用石灰系统，则还有石灰库、消石灰间、石灰乳加药间等，合设时统称为石灰储存计量间。

2. 凝结水精处理系统

火力发电厂的凝结水（疏水）主要有汽轮机凝结水、热力系统中的各种疏水，以及供热火力发电厂回水的凝结水等，其中主要是汽轮机凝结水。

设置凝结水精处理系统可以有效地、连续地去除汽轮机在正常或非正常运行情况下热力系统的金属腐蚀产物或因凝汽器微量泄漏而进入系统的盐分，从而提高汽轮机的效率，延长酸洗周期。在汽轮机启动时精处理系统还可以大大地缩短汽轮机的启动时间，减少启动时的大量排水损失。

凝结水精处理系统一般由前置过滤器和/或混床及其再生系统组成。

凝结水精处理系统设置的建筑物通常有精处理设备间、精处理再生设备间、酸碱库及酸碱计量间等。

3. 热力系统的化学加药、汽水检测和取样系统

化学加药的目的在于对给水、炉水和凝结水进行校正处理，控制给水、炉水和凝结水的化学性质，最大限度地减少热力系统结垢和腐蚀，以确保给水品质。

化学加药系统包括给水、凝结水加氨系统，给水、凝结水加除氧剂系统，给水、凝结水加氧系统，炉水及闭式循环冷却水加药系统。

汽水取样装置主要是用以准确的监督机炉运行中给水和蒸汽品质的变化情况，用来控制维持所希望的运行工况，判断系统中的设备故障，以保证电厂机炉的安全经济运行。

此系统设置的建筑物通常有加氨间、加除氧剂间、加氧间、加磷酸盐间、药品库、汽水取样间等，加药间合设时统称为综合加药间。

4. 冷却水处理系统

冷却水处理要根据冷却方式、全厂水量平衡、水源水量及水质，全面考虑防垢、防腐和防菌藻及水生物的滋生等因素，选用节约用水、保护环境的冷却水处理系统。

冷却水处理的方式有加硫酸、加杀菌剂和加阻垢剂的处理方案，各种软化法和离子交换法，必要时也可采用反渗透膜处理方法。

冷却水处理系统设置的建筑物根据不同的处理方式分别设置有预处理间、除盐间、酸碱库及酸碱计量间、各种药品储存及加药间、电解食盐或电解海水制氯间等。如果预处理采用石灰系统，则还有石灰库、消石灰间、石灰乳加药间等。

5. 氢气系统

火力发电厂的发电机采用水-氢-氢冷却方式时，发电机初运行时需要充入氢气，正常运行时，氢气也会泄漏，工艺系统会自动补氢。

氢气作为一个易燃易爆的危险品，在厂外有可靠的氢气源时，火力发电厂生产用氢气采用外购，厂内只设置供氢站。无法利用外购解决氢气源时，火力发电厂内设制氢站。

氢气系统设置的建筑物通常有制氢站、供氢站和氢气储罐间。

6. 氧气系统

目前我国新建的火力发电厂生产和建设需用的氧气，一般采用外购形式，厂内只建供氧站或储氧气瓶间。

7. 废水处理系统

废水处理系统是火力发电厂的重要辅助系统。废水处理设施的运行方式及运行效果对电厂的节水、降低工程造价有着巨大的作用和积极意义。电厂运行中产生的各种废水经有效处理后，可以复用于其他工艺系统，达到分级重复利用。采用相应物化、生化处理措施后，不仅减少污染物质的排放，减少环境污染，而且达到了废水的减量化、无害化和资源化。

按照废水的来源、性质可以分为生活污水、生产杂用废水、含煤废水、含油污水、脱硫废水等。火力发电厂按照废水的分类进行收集，采用有针对性的处理工艺，分别收集排入各自的处理系统，进行有效处理，然后再回收利用。本章所介绍的工业废水处理是处理生产杂用废水。生活污水、含煤废水、含油污水、脱硫废水的处理建筑描述见第七章第三节。

工业废水来源于主厂房杂用水、地面冲洗水、辅机冷却水排水、化学水处理设备反冲洗排水、取样间排水、经过中和处理的锅炉清洗废水及其他排水等，一般采用澄清、过滤处理系统。

工业废水处理系统设置的建筑物有废水处理间、药品储存及加药间等。

8. 再生水深度处理系统

火力发电厂为节约用水，采用污水处理厂处理后的再生水，即中水，作为火力发电厂循环水的补水及厂内工业用水。

城市污水的水质成分比较复杂，污水中含有的悬浮物、溶解盐、有机物、细菌、氨氮、磷等有害物质与自然水体差别较大，这些有害物质在循环水系统经生物、化学反应形成大量黏泥和酸性物质，降低换热管材的传热效率，造成循环水系统腐蚀，结垢性离子达到一定浓度会在换热管材内壁结垢，同时对水泥构筑物腐蚀比较严重。

当污水处理厂处理后的再生水水质不能满足火力发电厂的用水要求时，还需深度处理，火力发电厂内设置再生水深度处理站。

根据再生水的水量和水质，对生物滤池、混凝（石灰）、澄清、介质过滤和/或膜过滤、膜生物反应器（MBR）以及反渗透等处理工艺进行不同的组合，形成适合火力发电厂的再生水处理系统。

再生水深度处理系统设置的建筑物根据不同的方案可能有生物滤池间、过滤间、膜处理间、各种药品储存及加药间等。如果采用石灰系统，则还有石灰库、消石灰间、石灰乳加药间等。

9. 海水淡化处理系统

海滨火力发电厂为节约淡水或补充火力发电厂淡水不足，可采用海水淡化水作为火力发电厂的工业及生活用水。目前用于海水淡化的主要方法有反渗透（SWRO）、多级闪蒸（MSF）、多效蒸发（MED）和压气蒸馏（VC）等。对于大规模水电联产海水淡化站，也可以采用上述各种方法的组合系统。

海水反渗透装置对原料水的水质要求较高，为此须设置完善的预处理系统。

蒸馏法设备对海水品质变化的适应性较强，进料海水预处理简单。淡化设备加热蒸汽一般采用汽轮机抽汽，其参数根据汽轮机可能提供的蒸汽流量和参数确定。

海水淡化处理系统设置的建筑物根据不同的方案可能有预处理间、海水淡化间、高压水泵间、能量回收装置和各种药品储存及加药间等。

10. 油处理系统

油处理的对象通常为透平油和变压器绝缘油等。油处理系统的任务是除去油中的有害物质，使不合格油的使用性能重新得到恢复或改善。油处理的方法可分为物理净化、物理化学再生和化学再生等。

为油处理系统设置的建筑物通常有油处理室、油罐间等。

目前，火力发电厂一般不设全厂集中油处理室。透平油处理设备布置在主厂房内，敞开布置，也不设绝缘油净化固定设施，仅可设部分移动式绝缘油处理设备。不合格的绝缘油也可外委专业净油公司进行净化处理或由绝缘油供应厂负责回收处理。

第二节　锅炉补给水处理建筑供暖通风与空气调节

锅炉补给水水源可采用天然水（包括地表水和地下水），现在工程中为节约用水，减少水的对外排放，也可以将循环水系统的排污水作为锅炉补给水处理系统的水源。

锅炉补给水预处理系统，一般可分为混凝澄清过滤系统和加石灰混凝澄清过滤处理系统。

一、混凝澄清过滤系统的建筑供暖与通风

（一）工艺简介

地表水中的悬浮物和有机物的处理方式通常可分为两种：一种是设澄清池，原水进入澄清池，注入凝聚剂，经凝聚、澄清，再通过介质过滤器和/或膜过滤进行过滤处理后，设泵加压输送至下一级处理系统；另一种是设压力混合器，向进入压力混合器的原水注入凝聚剂，经凝聚、澄清，再通过介质过滤器和/或膜过滤进行过滤处理后，设泵加压输送至下一级处理系统。

由于循环水系统排污水水质较差，水中的有机物、悬浮物含量均较高，因此循环水系统排污水的处理系统通常采用混凝澄清过滤系统。

预处理系统根据需要设置相应的加杀菌剂、加混凝剂、加助凝剂等系统。

为此系统设置的建筑物通常有机械加速澄清池、过滤间、泵间、各种药品储存及加药间等。

（二）工艺对环境要求

（1）澄清池在运行中无有害气体产生，但由于其是敞开式，会有大量的潮气散到室内，需要考虑机械排除。

（2）过滤间在运行中无有害气体产生，但其化学反洗的过程会有有害气体泄漏，需要机械排风。

（3）泵间在运行中无有害气体产生，夏季应设置以排除余热为主的通风系统，宜采用自然通风，冬季供暖系统满足工艺设备高效运行和室内不结冻。

（4）加杀菌剂的药品储存及加药间，根据药品的性质确定通风方式。加混凝剂和加助凝剂的药品储存及加药间，无有害气体产生，夏季应设置以排除余热为主的通风系统，宜采用自然通风方式。

（5）冬季供暖系统满足药品的储存和使用环境要求，并保证室内不结冻。

（三）供暖通风设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按DL/T 5035—2016中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表6-1。

表6-1　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
澄清池、药品储存间	—	—	≥10	—	
过滤间、药品加药间	—	—	≥16	—	
泵间	—	—	≥5	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表6-2。

表6-2　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
澄清池	√	—	√	—	
过滤间	√	—	√	—	
泵间	√	√	—	—	
药品储存间	√	√	（√）	—	
药品加药间	√	√	（√）	—	

注　√表示采用的设计内容；（√）表示当√的设计方式不适用时，可选用的方式。

3. 通风方式

水预处理建筑各房间通风方式见表6-3。

表6-3　水预处理建筑各房间通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
澄清池、过滤间（无清洗设备）	潮气	夏季：≥6；冬季：≥2	自然进风、机械排风	防腐
过滤间（有清洗加药设备）	次氯酸钠、氯气等	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐
泵间	余热	—	自然通风	
药品储存间	杀菌剂	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐
	混凝剂、助凝剂	—	自然通风	
药品加药间	杀菌剂	≥15	自然（机械）进风、机械排风	防腐
	混凝剂、助凝剂	—	自然通风	

注　过滤间冬季需要补热风时，采用机械进风方式，并保证室内负压。

（四）供暖

1. 供暖原则

各房间的室内供暖设计温度见表6-1。

澄清池冷风热损失宜由供暖系统补偿。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

过滤间的排风系统为非定期间断运行，所以连续供暖系统设计时，只承担围护结构热损失，不考虑过滤间排风造成的冷风渗透补偿加热量，当室内温度无法保证时或严寒地区，宜单独设置间歇运行的通风热补偿系统。

4. 防腐

（1）过滤间一般不考虑防腐，当超滤清洗加药设备布置在过滤间时，才考虑防腐。供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

（2）澄清池考虑空气湿度大造成的腐蚀。

（3）合理布置供暖系统，以减少过门沟或穿越化学药品管沟。

（五）通风

澄清池夏季室内通风应以排除湿气为主，通风换气次数不应少于6次/h，集中供暖地区的冬季通风量可按换气次数不少于2次/h计算，冬季进风口布置在车间上部。

过滤间应设置机械通风装置，无清洗加药设备时，通风量按换气次数不少于6次/h计算，集中供暖地区的冬季通风量可按换气次数不少于2次/h计算；有清洗加药设备时，通风量按换气次数不少于10次/h计算。室内空气不应形成循环。通风系统的其他要求参见本章第五节。

泵间夏季宜采用自然通风方式，设计时宜按排除房间余热，即设备散热量来计算。

二、加石灰混凝澄清过滤处理系统的建筑供暖与通风

（一）工艺简介

石灰处理系统作为电厂循环冷却水的补充水处理应用比较普遍，通常是将石灰放入反应器中，除去水中的碳酸盐硬度，经过滤处理后通过泵加压送至下一级处理系统。

石灰处理是通过投加石灰乳控制出水pH值为10.3～10.5，为了提高工艺的沉淀效果，一般在处理过程中投加适量的凝聚剂与助凝剂，在机械混合搅拌和高分子助凝剂架桥与网捕作用下，颗粒物质碰撞结合长大，使污染物变得容易沉降。

加石灰混凝澄清过滤处理系统的建筑物需要增加石灰库、消石灰间、石灰乳加药间等，合设时统称为石灰储存计量间。

（二）工艺对环境要求

（1）石灰库、消石灰间宜采用机械通风方式。

（2）石灰乳加药间宜采用自然通风方式。当工艺采用干法计量时，采用机械通风方式。

（三）供暖通风设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按DL/T 5035—2016中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表6-4。

表6-4　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
石灰库	—	—	≥10	—	
消石灰间、石灰乳加药间	—	—	≥16	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表6-5。

表6-5　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
石灰库	√	—	√	—	
消石灰间	√	—	√	—	
石灰乳加药间（干法计量）	√	—	√	—	
石灰乳加药间（非干法计量）	√	√	—	—	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

加石灰处理建筑各房间通风方式见表6-6。

表6-6　加石灰处理建筑各房间通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
石灰库	石灰	≥10	自然进风、机械排风	电动机全封闭
消石灰间	消石灰	≥10	自然进风、机械排风	电动机全封闭
石灰乳加药间（干法计量）	石灰	≥15	自然进风、机械排风	
石灰乳加药间（非干法计量）	余热、无害气体	—	自然通风	

（四）供暖

1. 供暖原则

各房间的室内供暖设计温度见表 6-4。

集中供暖地区加石灰混凝澄清过滤处理系统的建筑物的通风热损失宜由供暖系统补偿；对严寒地区，当室内散热器供暖系统无法补偿时，可设置热风系统补偿，但有石灰粉尘产生的房间不能使用热风循环方式。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如 110/70、95/70℃等。

（五）通风

石灰库应采用机械除尘的方法消除石灰粉尘。石灰库及消石灰间的通风换气次数应不少于 10 次/h。设置自然进风、机械排风系统，电动机应为全封闭型。

石灰乳加药间一般采用自然通风方式。当工艺采用干法计量时，应设置自然进风、机械排风系统，换气次数不少于 15 次/h。

石灰库吊车司机小室应密封，防止抓斗起落时的石灰粉尘及石灰喷水时产生的潮气进入司机小室。炎热地区宜设置舒适性空气调节。

三、化学水处理建筑供暖通风与空气调节

（一）工艺简介

补水经预处理后至除盐处理系统，经过一级离子交换加混床处理、一级反渗透预脱盐加一级离子交换加混床处理或两级反渗透预脱盐加 EDI 电除盐等除盐处理之后储存在除盐水箱，经除盐水泵加压输送至主厂房。

反渗透装置设有冲洗和化学清洗装置，离子交换设备采用酸和碱再生。常用化学药品包括次氯酸钠、亚硫酸钠、阻垢剂、盐酸或硫酸、氢氧化钠等。

锅炉补给水系统设备布置在化学水处理建筑内，此建筑内通常设有除盐间、反渗透间、除盐水泵间、反渗透水泵间、清洗加药间、酸碱库、酸碱计量间、化学控制室等。

（二）工艺对环境要求

（1）反渗透装置、离子交换器、树脂储存罐、混床及水泵间在运行中无有害气体产生，夏季应设置以排除余热为主的通风系统，宜采用自然通风方式，冬季供暖满足工艺设备高效运行和室内不结冻。

（2）清洗加药间通常包括次氯酸钠加药装置、加酸装置、加碱装置、加亚硫酸钠装置和加阻垢剂装置。此间应设置强制通风系统，集中供暖地区，室内应设置供暖设施。

（3）酸计量间、酸碱计量间、酸库、酸碱库、卸酸泵房等设置强制通风系统，有效排除泄漏至室内的酸气。集中供暖地区，室内应设置供暖设施，并考虑通风热量补偿措施。

（4）碱计量间、碱库、卸碱泵房等的碱液为氢氧化钠，无有害气体产生，宜采用自然通风方式，集中供暖地区，室内应设置供暖设施。

（5）化学控制室设置空气调节装置。

（三）供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按 DL/T 5035—2016 中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表 6-7。

表 6-7　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
除盐间、反渗透间	—	—	≥16	—	
除盐水泵间、反渗透水泵间	—	—	≥5	—	
清洗加药间	—	—	≥16	—	
酸库、酸计量间	—	—	≥10	—	
酸碱库、酸碱计量间、碱库、碱计量间	—	—	≥16	—	
卸酸碱泵房	—	—	≥16	—	
化学控制室	26～28	—	≥18	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表 6-8。

表 6-8　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
除盐间、反渗透间	√	√	—	—	
除盐水泵间、反渗透水泵间	√	√	—	—	
清洗加药间	√	—	√	—	
酸库、酸计量间、酸碱库、酸碱计量间	√	—	√	—	
碱库、碱计量间	√	√	—	—	
卸酸碱泵房	√	—	√	—	
化学控制室	√	—	—	√	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

表 6-9　锅炉补给水处理建筑各房间通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数(次/h)	通风方式	备注
除盐间、反渗透间	余热、换气	—	自然通风	
除盐水泵间、反渗透水泵间	余热	—	自然通风	
清洗加药间	酸气、次氯酸钠	≥15	自然（机械）进风、机械排风	防腐
酸库、酸碱库	酸气	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐
酸计量间、酸碱计量间	酸气	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐
碱库、碱计量间	余热、换气	—	自然通风	
卸酸碱泵房	酸气	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐

注　表中各房间冬季需要补热风时，采用机械进风方式，并保证室内负压。

（四）供暖

1. 工艺设备散热量计算

当补水有加热，且除盐间的补水采用天然水时，将原水加热至 35～40℃，然后再进行软化除盐处理。此时，设备采用离子交换器，器壁为碳钢衬胶，设备表面积较大，无保温设施，会向室内散发热量，在进行供暖系统设计时，宜考虑设备散热量，进行热平衡计算。超滤反渗透间内的超滤装置的运行水温通常为 10～25℃，温度低或高时，膜会失效。反渗透装置内的水温在 20℃左右，器壁为玻璃钢材质，散热系数小，可不计设备散热量。离子交换器的散热量计算式为

$$Q=\Sigma A\alpha_w(t_w-t_{av})\eta \tag{6-1}$$

式中 Q——设备表面散热量，W；

A——器壁外表面积，m^2；

α_w——器壁外表面散热系数，取 10W/（m^2·℃）；

t_w——器壁外表面温度，取 25℃（或 35～40℃）；

t_{av}——室内平均温度，取 16℃；

η——设备同时利用系数（由工艺提供）。

如果被处理水温度较低，与室内温差 $\Delta t \leqslant 5$℃时，可不考虑设备散热量。

2. 供暖原则

各房间的室内供暖设计温度见表 6-7。

除盐间、超滤反渗透间按维持室内 16℃设计供暖系统。在进行此房间热平衡计算取值时，应校核设备全部停运时的最不利工况。供暖系统应保证全部设备停运时，室内温度大于或等于 5℃。

与酸液比较，碱液的冰冻点温度较高，因此酸库和碱库的冬季室内供暖温度要求不同，应根据工艺布置方案确定。

3. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂内供暖管网水温一致，如 110/70、95/70℃等。

4. 通风热补偿

酸计量间、酸碱计量间、酸库、酸碱库、卸酸泵房等排风系统为非定期间断运行，所以连续供暖系统设计时，只补偿围护结构热损失，不考虑酸库排风造成的冷风渗透补偿加热量。当排风系统运行时造成室内温度低时，冷风渗透补偿加热量由单独设置的热风补偿系统完成。

5. 防腐

酸碱计量间、酸碱库、卸酸碱泵房、清洗加药间、除盐间和超滤反渗透间等具有腐蚀性工艺的化学房间，供暖系统的散热器、冷风补偿装置和室内供暖管网系统应做好防腐处理。

合理布置供暖系统，以减少过门沟或穿越化学酸碱沟道，避免酸碱液渗入沟内造成腐蚀。

供暖入口检查井不宜设在酸碱计量间、酸碱库、卸酸碱泵房和清洗加药间内。

（五）通风

1. 化学水处理室通风设计

化学水处理室的除盐间、反渗透间、除盐水泵间、反渗透水泵间等，夏季宜采用自然通风方式，设计时宜按排除房间余热，即设备散热量来校核通风面积。

2. 碱库及碱计量间通风设计

氢氧化钠碱液不易挥发，无害，碱库及碱计量间宜采用自然通风方式。

3. 酸库及酸计量间通风设计

（1）酸库及酸计量间应设置机械通风装置。通风量按换气次数不少于 10 次/h 计算。室内空气不应再循环，室内应保持负压，可采用自然进风方式，若采用机械进风方式，实际的排风量应比送风量大 15%左右。

（2）硫酸不宜挥发。存放硫酸的酸库及酸计量间，室内吸风口应设置在房间的下部，风口下缘与地面距离不应大于 0.3m。

（3）浓盐酸具有挥发性，氯化氢气体与空气中的水蒸气结合形成盐酸的小液滴。存放盐酸的酸库及酸计量间应分别设置下部吸风口和上部吸风口。下部排风量为总排风量的 2/3，上部排风量为总排风量的 1/3。下部吸风口的下缘与地面距离不应大于 0.3m，上部吸风口的位置宜设在房间高度的 2/3 以上。排风口宜靠近酸设备布置。

（4）严寒及寒冷地区，尤其供暖室外计算温度低于-20℃的地区，当酸库排风系统运行时，大量无组织的冷风渗透仍会导致室内局部温度过低，为此，应设计单独的补送热风装置，以避免局部温度过低，保证酸碱再生系统安全运行。

热风机组宜布置在单独的机房内，补热风系统的计算方法参见第四章第二节。

当进行冬季送风系统空气加热器的选择计算时，室外空气计算参数应采用供暖室外计算温度。

热风机组的室外进风管靠外墙处，设置保温风阀防冻，保温风阀与外墙间的新风管加装保温，机组加热盘管的水阀须保持最小开度防冻。

当不设置送热风系统对室内排风的耗热量进行补偿时，排风系统耗热量补偿计算时的室外空气计算参数应采用冬季通风室外计算温度。

（5）布置在酸库及酸计量间内的送风设备、风管、风口及附件等，整个排风系统排风机、风管、风口及附件等应防腐，电动机布置在房间内或排除气流流经的情况下，电动机应为全封闭式。

（6）酸碱共库、酸碱计量间和卸酸碱泵房，室内应设置机械通风装置。通风量按换气次数不少于10 次/h 计算。通风系统按酸库及酸计量间的通风要求设计。

（7）在卸酸的过程和酸计量泵运行时，会产生酸液泄漏，在不需要补偿热风的地区，可适当加大通风量。

4. 加药间通风设计

清洗加药间，室内应设置机械通风装置。通风量按换气次数不少于 15 次/h 计算。当布置有加酸装置时，下部排风量为总排风量的 1/3，上部排风量为总排风量的 2/3。下部吸风口的下缘与地面距离不应大于0.3m，靠近加酸装置。通风系统的其他内容见上述“酸库及酸计量间通风设计”。

5. 局部通风设计

可能产生或溢出有害物质的设备宜布置在单独的房间内，采用全面机械通风系统；当与其他设备布置在同一房间时，宜设置局部机械通风装置，如设置吸风罩、吸风口等。

（六）空气调节

化学水处理控制室应设置空气调节系统。当厂区设置集中制冷站且距离化学水处理区域较近时，化学水处理控制室空气调节可采用使用制冷加热站冷热媒的空气处理机（AHU）或采用风冷分体式空气调节机。全空气处理系统的新风设计参见第三章第四节，设置风冷分体式空调机的房间可不单设补新风系统。

控制室夏季空气调节室内设计参数：温度 26～28℃，相对湿度不控制。

第三节　凝结水精处理车间

一、工艺简介

凝结水精处理系统在汽轮机组运行期间，其运行的目的是除去凝结水中微量的硅、铜、铁及溶解盐等成分，以保证凝结水水质。凝结水精处理系统一般由前置过滤器、体外再生高速混床、混床的体外再生系统组成。体外再生系统包括树脂分离设备、再生设备、酸碱储存及计量设备。

凝结水精处理系统通常有凝结水精处理设备间、再生间、凝结水精处理控制室、酸碱库及酸碱计量间等。

二、工艺对环境要求

（1）凝结水精处理设备间、再生间采用自然通风方式。集中供暖地区，冬季设置供暖设施。

（2）凝结水精处理控制室设置空气调节装置。

（3）酸碱库、计量间等按化学水处理建筑中相同功能的房间设置。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按 DL/T 5035—2016 中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表 6-10。

表 6-10　各房间的温度及相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
凝结水精处理设备间、再生间	—	—	≥16	—	
凝结水精处理控制室	26～28	—	≥18	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表 6-11。

表 6-11　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
凝结水精处理设备间、再生间	√	√	—	—	
凝结水精处理控制室	√	—	—	√	

注　√表示采用的设计内容。

四、供暖

1. 供暖原则

（1）各房间的室内供暖设计温度见表 6-10。

（2）凝结水精处理设备通常布置在主厂房区域内，当主厂房设置了供暖系统后，不用再为凝结水精处理设备设置单独的供暖系统；如果凝结水精处理设备布置在单独的房间且靠外墙或主厂房附近的建筑物内布置，应按维持室内温度 16℃设计供暖系统。

（3）冷风热损失宜由供暖系统补偿。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网或主厂房供暖系统的水温一致，如 110/70、95/70℃等。

3. 防腐

（1）供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

（2）合理布置供暖系统，以减少过门沟或穿越化学排水沟道，避免含酸碱的废水渗入沟内造成腐蚀。

五、通风

当室内无树脂再生用酸碱储存槽或计量箱时，凝结水精处理设备间、再生间采用自然通风方式。当再生间内含酸等化学药品的排水沟敞开布置时，设置局部排风装置。

当室内设有树脂再生用酸碱储存槽或计量箱时，应设置自然进风、机械排风系统，通风量宜按换气次数不少于 10 次/h 计算。

六、空气调节

凝结水精处理控制室应根据工艺要求设置空气调节系统。主厂房区域设置集中制冷站时，凝结水精处理控制室宜选用使用制冷加热站冷热媒的空气处理机（AHU），或选择小型风冷分体式空气调节机组。全空气处理系统的新风设计参见第三章第四节，设置风冷分体式空气调节机的房间可不单设补新风系统。

控制室夏季空气调节室内设计参数：温度 26～28℃，相对湿度不控制。

第四节　热力系统的化学加药间和汽水取样间

一、工艺简介

化学加药系统的作用是控制给水、炉水的化学性质，以减少热力系统结垢和腐蚀，保证给水水质。

热力系统的化学加药包括凝结水、给水加氨，凝结水、给水加除氧剂，凝结水、给水加氧，炉水加磷酸盐，闭式冷却水加除氧剂等。

化学加药设备通常布置在化学加药间内，同时设有药品储存间。

汽水取样系统由样品采集装置、降压冷却装置、分析仪表等组成。根据样品分析结果，提供自动加药信号以调节加药量。汽水取样系统通常设高温架（湿盘）间和（干盘）仪表间。

二、工艺对环境要求

（1）氨属于有毒、易挥发、具有爆炸性和刺激性的物质，因此加氨间需要设置全面通风换气。集中供暖地区，冬季设置供暖设施。

（2）当采用联氨做除氧剂时，联氨有毒，并具有挥发性、刺激性等特征，因此加联氨间需要设置全面通风换气。集中供暖地区，冬季设置供暖设施。

（3）加磷酸盐间、加除氧剂间、加氧间内的气体一般对人体无害。

（4）汽水取样系统通常设高温架间，又称为湿盘间。取样设备包括装有取样管、取样冷却器和调节阀的高温高压架。取样管和取样冷却器都是散热的装置，它造成室内余热量较大，因此应设通风换气设施排除余热。

（5）汽水取样系统的（干盘）仪表间是对水的各项指标进行随时监测。仪表间对室内的温度、相对湿度及空气的洁净度有一定的要求，应根据具体情况设置空气调节系统。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按 DL/T 5035—2016 中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表 6-12。

表 6-12　　房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
加氨间、加联氨间、加磷酸盐间、加除氧剂间、加氧间	—	—	≥16	—	
药品库	—	—	≥10	—	
汽水取样高温架间	—	—	≥5	—	
汽水取样仪表间	26～28	—	≥18	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表 6-13。

表 6-13　　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
加氨间、加联氨间	√	—	√	—	
加磷酸盐间、加除氧剂间、加氧间	√	√	—	—	
药品库	√	—	√	—	
汽水取样高温架间	√	—	√	—	
汽水取样仪表间	√	—	—	√	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

热力系统的化学加药间和汽水取样间通风方式见表 6-14。

表 6-14　　热力系统的化学加药间和汽水取样间通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
加氨间	氨等刺激性气体	≥15	自然（机械）进风、机械排风	防腐防爆
加联氨间	联氨等刺激性气体	≥15	自然（机械）进风、机械排风	防腐防爆
加磷酸盐间	无害气体	—	自然通风	
药品库	氨、联氨等刺激性气体	≥15	自然（机械）进风、机械排风	防腐防爆
汽水取样高温架间	余热	—	自然进风、机械排风或降温	

注　表中各房间冬季需要补热风时，采用机械进风方式，并保证室内负压。

四、供暖

1. 供暖原则

各房间的室内供暖设计温度见表 6-12。

加氨间、加联氨间、加除氧剂间、加氧间、加磷酸盐间、汽水取样间通常布置在主厂房内，当主厂房内设置了供暖系统后，不用再为其设置单独的供暖系统；如果上述房间靠外墙或主厂房附近的建筑物内布置，应按维持室内温度 16℃设计供暖系统。

氨或联氨的药品库不设在主厂房内且有外墙时，应按维持室内温度 10℃设计供暖系统。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网或主厂房供暖系统的水温一致，如 110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

加氨间、加联氨间和药品库的通风系统应连续运行。当无独立的热风补偿系统时，在供暖热负荷计算时，应计入排风造成的冷风热补偿加热量。

4. 防腐

加氨间、加联氨间和药品库等具有腐蚀性工艺的化学房间，供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

合理布置供暖系统，减少过门沟或穿越化学药品沟道，避免化学药品渗入沟内造成腐蚀。

供暖入口检查井不宜设在加氨间、加联氨间和药品库内。

五、通风

1. 氨仓库及其加药间通风设计

（1）氨仓库及其加药间应设置换气次数不少于 15 次/h 的机械排风装置。氨的分子式为 NH_3，比空气轻；但电厂通常是以使用密封瓶储存稀释过的胺水，胺水比空气重，药品库及其加药间的室内吸风口位置根据工艺条件确定。氨搅拌箱有氨气产生时，在房间的上部设置吸风口时，最好在氨搅拌箱的正上方。

（2）氨仓库及其加药间的机械排风系统排出的气体应直接排至室外。

（3）氨仓库及其加药间的通风机及电动机应为防爆式，并应直接连接。

（4）氨仓库及其加药间的通风设备、管道及附件应采取防腐措施。

2. 联氨仓库及其加药间通风设计

（1）联氨仓库及其加药间应设置换气次数不少于 15 次/h 的机械排风装置。联氨的分子式为 N_2H_4，电厂储存的联氨药品大多为带水的联胺，分子式为 $N_2H_4H_2O$，其挥发气体与空气密度相近，联氨仓库及其加药间室内吸风口应设置在房间的下部，风口下缘与地面距离不应大于 0.3m。

（2）联氨仓库及其加药间的机械排风系统排出的气体应直接排至室外。

（3）联氨仓库及其加药间的通风机及电动机应为防爆式，并应直接连接。

（4）联氨仓库及其加药间的等散发腐蚀性气体或储存腐蚀性药品的房间，其通风设备、管道及附件应采取防腐措施。

3. 加磷酸盐间、加除氧剂间、加氧间

加磷酸盐间、加除氧剂间、加氧间宜采用自然通风方式。

4. 汽水取样（湿盘）间

由于取样管和取样冷却器的散热量无法精确计算

确定，通风量可按换气次数不少于10次/h计算，排除室内余热余湿。通风系统可为自然进风机械排风系统。

六、空气调节

（1）汽水取样仪表间应根据工艺要求设置空气调节系统。

（2）若仪表间紧邻全空气的集中空气调节系统，且空气调节室内设计参数相同时，可直接接引空气调节支管。

（3）主厂房区域设置集中制冷站时，仪表间可选用使用制冷站加热站冷热媒的空气处理机（AHU）。全空气处理系统的新风设计参见第三章第四节。

（4）若无集中空气调节冷源，可选择小型分体式空气调节机组。设置风冷分体式空气调节机的房间可不单设补新风系统。

第五节　冷却水处理建筑

一、工艺简介

1. 防垢处理

（1）当循环冷却水系统补充水水质较好，碳酸盐硬度不高时，可采用加酸加阻垢剂的处理工艺。该处理系统的建筑物有加酸间、酸库和加阻垢剂间等。

（2）当循环冷却水系统补充水的碳酸盐硬度较高时，可采用补充水石灰软化法、弱酸树脂离子交换或钠离子交换法，也可采用循环水旁流石灰软化法、石灰-碳酸钠软化法、弱酸树脂离子交换或钠离子交换法，同时应与加稳定剂法联合使用。

（3）当循环水排污水必须回用于循环水，或补充水的含盐量不能满足循环水的水质控制指标时，也可采用反渗透膜处理。

（4）当循环水系统补充水采用再生水时，应按照循环水系统要求的控制水质指标进行处理。

相关内容见本章第二节和第十节。

2. 防生物污染处理

循环水中的生物在凝汽器水侧表面、管道内壁及水工建筑物中附着、生长、繁殖，导致传热效率降低、腐蚀加速、水流阻力加大。防生物污染处理除采用过滤、清洗、刮除等物理方法外，主要采取向循环水中添加杀菌剂的化学方法。

可选择的杀菌剂有二氧化氯、次氯酸钠、氯锭、液氯、非氧化性杀菌剂等药品，杀菌剂与水质稳定剂不应相互干扰。

火力发电厂不宜选用液氯作杀菌剂。

加杀菌剂系统设置的建筑物有二氧化氯制备间、电解食盐或电解海水制氯间、次氯酸钠间、加氯间及氯瓶间等。

二、工艺对环境要求

（1）循环水加酸间和酸库的设计要求参见本章第二节的相关内容。

（2）阻垢剂对人体无害。

（3）采用电解食盐或电解海水制取次氯酸钠时，电解制氯间的通风设计应符合制氢站防止氢气爆炸的通风要求。

（4）二氧化氯系统工艺房间、次氯酸钠系统工艺房间、加氯间、氯瓶间应设置强制通风系统，集中供暖地区，室内应设置供暖设施。

（5）电解制氯站的整流器间设备散热量大，夏季，当直接采用室外空气作为进风，不处理无法满足室内环境要求时，宜设置通风降温设施，以保证环境温度不高于30℃，极限最高温度不超过35℃。

（6）控制室设置空气调节装置。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按DL/T 5035—2016中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表6-15。

表6-15　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
阻垢剂间	—	—	≥16	—	
加酸间、酸库	—	—	≥10	—	
二氧化氯系统工艺房间、次氯酸钠系统工艺房间、加氯间、加药间	—	—	≥16	—	
制氯站的电解间	—	—	≥15	—	
制氯站的整流器间	≤30	—	≥16	—	
控制室	26～28	—	≥18	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表6-16。

表6-16　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
阻垢剂间	√	√	—	—	
加酸间、酸库	√	—	√	—	

续表

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
二氧化氯系统工艺房间、次氯酸钠系统工艺房间、加氯间、加药间	√	—	√	—	
制氯站内电解间	√	—	√	—	
制氯站内整流器间	—	—	√	—	
控制室	√	—	—	√	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

循环水处理建筑各房间通风方式见表6-17。

表6-17　循环水处理建筑各房间通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
阻垢剂间	无害气体	—	自然通风	
加酸间、酸库	酸气	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐
二氧化氯制备设备间、药品储存间	二氧化氯	≥12	自然（机械）进风、机械排风	防腐
次氯酸钠加氯间	次氯酸钠	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防腐
液氯加氯间、氯瓶间	氯气	≥15	自然（机械）进风、机械排风	防腐
制氯站内电解间	氢气	3（事故≥12）	自然（机械）进风、机械排风	防腐防爆
制氯站内整流器间	余热	—	通风降温	

注　表中各房间冬季需要补热风时，采用机械进风方式，并保证室内负压。

四、供暖

1. 供暖原则

各房间的室内供暖设计温度见表6-15。

加阻垢剂的计量泵通常与加酸计量泵布置在同一房间内，在此条件下，应按酸计量间的供暖通风要求设计。

如果加阻垢剂的计量泵布置在单独房间内，阻垢剂间和加阻垢剂计量泵间的供暖室内设计温度按16℃计算，设计供暖系统。

二氧化氯制备设备间及药品储存间，由于室内有产生氧气的可能性，故按照供氧站的要求不得使用明火或电热散热器取暖，确保室内生产设备及人员的安全。

二氧化氯制备设备间及药品储存间、制氯站的电解间，供暖管道及散热器与储气罐的距离不宜小于1m，不能满足要求时应采取隔热措施。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

加酸间和酸库的排风系统为非定期间断运行，所以连续供暖系统设计时，只补偿围护结构热损失，不考虑酸库排风造成的冷风渗透补偿加热量。当排风系统运行时造成室内温度过低时，冷风渗透补偿加热量可由单独设置的热风补偿系统完成。

二氧化氯系统工艺房间、次氯酸钠系统工艺房间、加氯间、氯瓶间的通风系统应连续运行，可单独设置热风补偿系统，当不单独设置热风补偿系统时，在供暖热负荷计算时，应计入排风造成的冷风热补偿加热量。

4. 防腐

加酸间、酸库、二氧化氯系统工艺房间、次氯酸钠系统工艺房间、加氯间和氯瓶间等具有腐蚀性工艺的化学房间，供暖系统的散热器、热风补偿系统和室内供暖管网系统应做好防腐处理。

合理布置供暖系统，以减少过门沟或穿越化学酸氯沟道，避免酸液、氯水等渗入沟内造成腐蚀。

供暖入口检查井不宜设在加酸间、酸库和加氯间内。

五、通风

（一）循环水加酸间和酸库、加阻垢剂间通风设计

循环水加酸间和酸库的设计要求参见本章第二节的酸库和酸计量间。

加阻垢剂间采用自然通风方式。

（二）加氯系统的工艺房间通风设计

1. 加氯系统采用二氧化氯制剂

二氧化氯制备设备间及药品储存间应设置换气次数不少于12次/h的机械通风装置。

通风机和电动机应为防爆式，并应直接连接。

2. 加氯系统采用次氯酸钠制剂

外购次氯酸钠的加氯间应设置换气次数不少于10次/h的机械通风装置。

采用电解食盐或电解海水制取次氯酸钠时，电解制氯间的通风设计参见本章第七节。

整流器间的设备为硅整流设备，设备本体不带风扇，无法将自身的热量排除，散热量大，与电气的直流屏间相似。通常采用通风降温方式满足设备的运行环境。

3. 加氯系统采用液氯制剂

加氯间与氯瓶间应设置换气次数不少于15次/h的机械通风装置。

由于氯气对人体存在极大危害，机械排风系统不应直接将有害气体排放到大气中去，机械排风系统宜接至氯气回收塔内。当排风系统将有害气体直接排至室外时，室外排风口应高出屋面2.0m。

根据GB 50050—2007《工业循环冷却水处理设计规范》中要求氯瓶间和加氯间“应设置通风设备和漏氯检测报警装置”，因此液氯系统房间内的机械通风装置应与漏氯检测报警装置联锁。当加氯间与氯瓶间发生事故液氯大量泄漏时，直接排至室外的通风机应及时关闭，防止室内氯气直接排至室外。

在一般情况下，氯气的密度虽然比空气大，但加氯间、氯瓶间有部分管道、阀门等设在房间的上部，在氯气泄漏、下沉的过程中与空气混合，密度下降，使下沉的过程逐步减缓。此时，如空气中相对湿度较大，氯气就能够与水作用生成酸，对设备或管道造成腐蚀，使储存设备穿孔，导致泄漏爆炸事故，同时产生氢气。因此，液氯系统房间内的室内吸风口应分别设置在下部和上部，各自承担1/2的通风换气量，下部吸风口的下缘距地面距离不应大于0.3m，上部吸风口的位置宜设在房间高度的2/3处。

室内空气不应再循环。

4. 加氯系统采用氯锭制剂

室内可采用自然通风方式。

5. 加氯系统的工艺房间均应采用负压通风方式

加酸间、酸库、加氯系统的工艺房间内，其供暖、通风设备、管道及附件均应防腐。

六、空气调节

控制室应设置空气调节系统。空气调节系统的设计原则参照火力发电厂其他控制室，按舒适性空气调节要求进行设计。

第六节　化学实验室

一、工艺简介

化学实验室包括水、煤、油分析试验室等。通常布置在化学水处理室的化验楼内。

根据工程不同，常见的各类化学实验室有运行化验室、天平室、精密仪器室、加热间、高温炉加热间、热计量室、微量分析室、工业分析室、元素分析室、水分析室、油分析室、煤分析室、煤制样间、色谱仪器分析间、色谱气瓶室和药品库等。

加热间、高温炉加热间、水分析室、油分析室、煤分析室通常设有通风柜。

二、工艺对环境要求

（1）集中供暖地区，各类化学实验室均应设置供暖设施。

（2）产生有毒、有异味等有害气体、余热或粉尘的化学实验室应设置通风设施。

（3）通风柜应设置局部排风。

（4）天平室、精密仪器室、热计量室及微量分析室等应根据工艺要求设置空气调节装置。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按DL/T 5035—2016中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表6-18。

表6-18　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
运行化验室、工业分析室、元素分析室、水分析室、油分析室、煤分析室、煤制样间、色谱仪器分析间、加热间、高温炉加热间	—	—	≥18	—	
天平室、精密仪器室、热计量室、微量分析室	26～28	—	≥18	—	
色谱气瓶室、药品库	—	—	≥10	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表6-19。

表6-19　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
工业分析室、元素分析室、色谱仪器分析间	√	√	—	—	
运行化验室、水分析室、油分析室、煤分析室、煤制样间、加热间、高温炉加热间、色谱气瓶室、药品库	√	—	√	—	
天平室、精密仪器室、热计量室、微量分析室	√	—	—	√	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

化学实验室通风方式见表6-20。

表6-20　　化学实验室通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
运行化验室	刺激性气体	≥6	自然进风、机械排风	防腐防爆
水分析室	酸气	≥6	自然进风、机械排风	防腐
油分析室	油气	≥6	自然进风、机械排风	防爆
煤分析室	余热	≥6	自然进风、机械排风	防爆
煤制样间	煤粉	≥5	自然进风、机械排风	防腐防爆
色谱气瓶室（有氢气瓶）	氢气	3（事故≥12）	自然进风、机械排风	防爆
加热间、高温炉加热间	余热	≥6	自然进风、机械排风	
药品库	刺激性气体	≥10	自然进风、机械排风	防腐防爆

四、供暖

1. 供暖原则

各房间的室内供暖设计温度见表6-18。

储存有氢气瓶的色谱气瓶室，供暖管道及散热器与氢气瓶的距离不宜小于1m，不能满足要求时应采取隔热措施。

煤的存样室不设置供暖设施。

2. 热媒

供暖热媒应采用化学水处理室供暖系统或厂区内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

各类化学实验室的通风系统根据工艺需要运行。一般为间断运行，每次使用时间不长。供暖热负荷计算时，可不考虑排风造成的冷风热补偿加热量。

4. 防腐

运行化验室、水分析室、煤制样间、药品库等散发腐蚀性气体和储存腐蚀性药品的房间，供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

五、通风

（1）产生有毒、有异味等有害气体和大量余热的化验室应设置换气次数不少于6次/h的机械排风装置。

（2）当色谱气瓶间内存有化验用的氢气瓶时，室内应设置排除氢气的通风设施。排风设备、风管及附件均要求防爆。其内容参见本章第七节。

（3）通风柜排风设计。

1）水分析室、油分析室、煤分析室及化验室等房间设置的通风柜，工作口风速不应小于0.6m/s，排风量应根据通风柜工作口最大面积计算确定。通风设备及材料应防腐。

2）油分析通风柜和煤分析通风柜的排风机和电动机应防爆且直接连接。

3）排除具有放射性物质或危险性较高物质的通风柜宜单独设置排风系统。排风口应高出室外屋面2.0m以上。

4）当一个房间只有一面外墙，室内有两个以上通风柜，且各通风柜独立设置排风系统均排至外墙外时，此时如果只有一个通风柜在使用，则其他通风柜易产生倒流，使室内空气环境受到污染。所以当房间内设有多个通风柜时，宜合并为一个排风系统。合并后的排风管排风量取室内所有通风柜所需通风量之和，乘以0.6～0.7的同时使用系数。

5）当一个房间内有通风柜和试剂柜时，应合并为一个排风系统。

6）当化验室内除设有通风柜外，还设有其他实验台时，房间的全面通风系统宜与通风柜通风系统分别设置。

（4）防腐防爆。

1）运行化验室、煤制样间和药品库的排风设备、风管及附件均要求防腐防爆。

2）水分析室的排风设备、风管及附件均要求防腐。

3）油分析室和煤分析室的排风设备、风管及附件均要求防爆。

六、空气调节

（1）化学实验室宜根据工艺要求设置空气调节装置。

（2）通常天平室、精密仪器室、热计量室及微量分析室等根据工艺要求设置空气调节装置。

（3）设置空气调节的化学实验室，夏季空气调节室内设计参数：温度26～28℃，湿度不控制。

（4）炎热地区，经常有人作化验的房间根据需要设置舒适性空气调节装置。

第七节　氢　气　站

一、工艺简介

氢气作为一种易燃易爆的危险品，属于甲类气体，

其相关建筑属于甲类生产火灾危险性建筑物。

尽管氢是自然界最丰富的元素之一，但是天然的氢在地面上却很少存在，所以只能依靠人工制取。采用电解水制氢是目前较为普遍采用的方法之一，它需要建制氢站。

当火力发电厂附近有可靠合格的氢源，厂内可不设制氢站，可外购氢气，厂内只设置供氢站。

供氢系统的建筑物一般包括制氢站、供氢站和氢气储罐间。

二、工艺对环境要求

（1）制氢站、供氢站和氢气储罐间在集中供暖区时，冬季设置供暖设施。

（2）存在氢气的房间设置正常通风和事故通风。

（3）控制室设置空气调节设施。

（4）防爆区域内的用电设备需要防爆。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按 DL/T 5035—2016 中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表 6-21。

表 6-21　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
制氢站电解间、供氢站操作间	—	—	≥15	—	
制氢站内控制室、化验室	26~28	—	≥18	—	
氢气储罐间、氢气空瓶间	—	—	≥10	—	
制氢站内冷却水泵间、辅助设备间	—	—	≥5	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表 6-22。

表 6-22　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
冷却水泵间、辅助设备间	√	√	—	—	
制氢站电解间、供氢站操作间、氢气储罐间	√	√	√	—	
制氢站化验室、空瓶间	√	—	√	—	
制氢站的控制室	√	—	—	√	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

氢气站通风方式见表 6-23。

表 6-23　氢气站通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
冷却水泵间、辅助设备间	余热	—	自然通风	
制氢站电解间、供氢站操作间、氢气储罐间	氢气	≥3（事故≥12）	自然进风、自然排风和事故排风	防爆
化验室	刺激性气体	≥6	自然进风、机械排风	防腐防爆
空瓶间	—	≥3	自然进风、自然排风	防爆

四、供暖

1. 供暖原则

（1）各房间的室内供暖设计温度见表 6-21。

（2）氢气站的供暖形式应符合 GB 50016—2014 及 GB 50177—2005《氢气站设计规范》的有关规定。

（3）氢气站为甲类生产火灾危险性建筑物，严禁采用明火或电热散热器供暖。

（4）设集中供暖时，应采用易于消除灰尘的散热器。

（5）供暖管道及散热器与各种储气罐的距离不宜小于 1m，不能满足要求时应采取隔热措施。

（6）供暖管道穿过墙壁和楼板时，应敷设在套管内，套管内的管段不应有焊缝。管道与套管间，应采用不燃材料填塞。

（7）氢气站供暖管道和设备的绝热材料应采用不燃材料。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如 110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

氢气站的正常通风系统经常连续运行。供暖热负荷计算时，应计入排风造成的冷风热补偿加热量。

五、通风

（1）氢气站内的电解间、氢气干燥间、氢气压缩机间、氢气储瓶间或供氢站的自然通风换气次数不应小于 3 次/h，并应设置换气次数不少于 12 次/h 的事故通风系统。

（2）自然通风系统的排风帽应设在顶棚的最高点，当顶棚被梁分隔时，每个分隔均应设置排风点。室内外温差大的地区，排风帽应设有防止凝结水滴落的设施和风阀。排风帽一般选用筒形风帽。

（3）事故通风系统的排风机与电动机应为防爆型，并应直接连接。

（4）根据 GB 50019—2015 中的规定，氢气为有爆炸危险性极高的气体，质量小，会聚集在顶棚下部，只有吸风口接近顶棚，才能有效地排除氢气，避免爆炸危险。室内吸风口上缘距顶棚平面或屋顶的距离不应大于 0.1m。

（5）所有吸风口、进风口均采用固定式。通风系统上的各类活动部件及阀件均应满足防爆要求。采用固定式风口，以及通风系统上的活动部件及阀件采取防爆措施，主要是防止活动部件在转动过程中产生静电、火花等。

（6）风管穿过墙壁和楼板时，应敷设在套管内，套管内的管段不应有法兰。风管与套管间，应采用不燃材料填塞。

（7）事故排风机应与氢气浓度检测报警装置联锁。当空气中氢气体积浓度达到 0.4%时，事故通风系统应自动投入运行。事故排风机宜在制氢或供氢控制系统中设置运行状态显示及故障报警。

由于氢气是一种无色、无味、无臭的气体，直观难以发现泄漏情况。根据 GB 50177—2005 中的规定，将超限报警触点接入事故排风机控制回路进行联锁后，当氢气超量形成隐患或事故发生时，能及时自动开启风机进行排除。事故风机在制氢或供氢控制系统中增加运行状态显示，可以确保事故通风系统的运行安全性。

（8）GB 50058—2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》给出了爆炸危险区域的等级范围划分原则，GB 50177—2005 给出了氢气站爆炸危险区域的等级范围划分。

按照上述规范，在电解间 4.5m 的范围内的相邻房间不能有门窗和风管的孔洞，如有，则需要设置事故排风机。

六、空气调节

控制室应设置空气调节装置，防爆区域内的空气调节装置选用防爆型。

七、防爆

氢气站具有爆炸危险区域内的供暖、通风及空气调节系统的用电设备及仪表的防爆级别、组别不得低于ⅡCT1。

爆炸危险区域的等级范围划分原则见 GB 50177—2005。

八、防雷接地

通风风帽、风机和排风管等应布置在防雷设施的保护范围内。

供暖系统和排风系统应设置导除静电的接地装置。管道法兰、阀门等连接处，应采用金属线跨接。

第八节　氧　　气　　站

一、工艺简介

氧气是一种无色无味气体，具有助燃性、氧化性。其相关建筑属于乙类生产火灾危险性建筑物，其安全运行和储存非常重要。

目前火力发电厂生产和建设需用的氧气一般采用外购形式，厂内只建供氧站或储氧气瓶间。

二、工艺对环境要求

（1）供氧站或储氧气瓶间在集中供暖区时，应设置供暖设施。

（2）有可能发生氧气泄漏的房间应设置正常通风。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1．室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按 DL/T 5035—2016 中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表 6-24。

表 6-24　　房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
供氧站操作间	—	—	≥15	—	
储氧气瓶间、氧气的空瓶间	—	—	≥10	—	

2．设计内容

各房间的具体设计内容见表 6-25。

表 6-25　　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容			备注
	供暖	通风	空气调节	
供氧站或储氧气瓶间	√	√	—	

注　√表示采用的设计内容。

3．通风方式

氧气站通风方式见表 6-26。

表 6-26　　氧气站通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
供氧站或储氧气瓶间	氧气	≥3	自然进风、自然排风	

四、供暖

1. 供暖原则

（1）各房间的室内供暖设计温度见8-24。

（2）氧气站的供暖形式应符合 GB 50016—2014 及 GB 50030—2013《氧气站设计规范》的有关规定。

（3）氧气站为乙类生产火灾危险性建筑物，严禁采用明火或电热散热器供暖。

（4）供氧站内的氧气瓶、储气罐为压力容器，为防止氧气瓶、储气罐受热膨胀而发生爆炸事故。供暖管道及散热器与各种储气罐的距离不宜小于1m，不能满足要求时应采取隔热措施。

（5）供暖管道和设备的绝热材料应采用不燃材料。

2. 热媒

供氧站等供暖系统热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

五、通风

供氧站和氧气瓶间宜设置换气次数不少于3次/h的自然通风系统。

第九节　工业废水处理建筑

一、工艺简介

工业废水来源于主厂房杂用水、地面冲洗水、辅机冷却水排水、化学水处理设备反冲洗排水、取样间排水、经过中和处理的锅炉清洗废水及其他排水等。

工业排水经室外管道收集，输送至工业废水处理站处理后，复用于除灰渣系统、煤场喷洒、灰场抑尘等。

工业废水处理站的水经调节池、斜板沉淀池、气浮池、过滤、复用水池，再经泵打入复用系统。

工业废水处理过程产生的污泥首先采用浓缩池浓缩，然后加药，采用污泥脱水机脱水，含水率低于75%后，干污泥装车外运。浓缩池上清液及脱水机排水回到调节池。

近年来，随着国家对环保和水资源综合利用标准的不断提高，电厂废水零排放已经成为一种常态。各类对以脱硫废水为主的电厂废水的深度处理，成为现代化火力发电厂的重要工艺系统之一。

二、工艺对环境要求

（1）工业废水处理站在集中供暖区时，应设置供暖设施。

（2）工业废水处理站室内布置设备的方式各不相同，其运行方式也各不相同，产生的有害气体类型、数量也相差较大，因此排除有害气体的方式及通风量应根据废水处理工艺、运行班制以及有害气体的性质确定。

三、供暖

1. 供暖原则

按DL/T 5035—2016执行，工业废水处理站冬季供暖室内计算温度按16℃设计。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

严寒地区和寒冷地区的工业废水处理室的冬季排风热损失宜由供暖系统补偿。冬季供暖系统设计应考虑通风系统连续运行工况下的热补偿。

4. 防腐

散发腐蚀性气体和储存腐蚀性药品的房间，供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

四、通风

（1）工业废水处理室内设有废水处理设备、经常性废水泵、非经常性废水泵、次氯酸钠储存计量装置、酸碱储存计量装置、助凝剂和絮凝剂加药装置、泥浆泵以及泥斗等设备，室内具有多种混合气体散发，且异味较大，通风系统需全年运行，因此工业废水处理间应设置换气次数不少于15次/h的机械排风装置，室内空气不应再循环。

（2）独立设置的废水泵间、助凝剂与絮凝剂加药间及其药品间宜采用自然通风。在废水处理中使用的助凝剂和絮凝剂的种类较多，单一药品散发的气体在一般情况下对人体的危害不大，可采用自然通风方式。

（3）次氯酸钠储存计量间应设置换气次数不少于10次/h的机械排风装置。排风口宜高于屋面2.0m，室内空气不应再循环。次氯酸钠有致敏作用，放出的游离氯有可能引起中毒，不易燃烧，但具有腐蚀性。其间产生的有害气体宜排至高空稀释。冬季，为防止进风对室内底部温度产生过大的影响及冬季负压过大，冬季进风口宜设置在室内的上部。

（4）酸碱储存计量间的供暖通风设计参见本章第二节。

（5）泥浆泵间与泥斗间内异味和潮气较大，通风系统需全年运行，泥浆泵间与泥斗间应设换气次数不少于15次/h的机械通风装置。

（6）当次氯酸钠储存计量装置、酸碱储存计量装置、含油废水处理装置、助凝剂与絮凝剂加药装置及其药品等设置在同一房间内时，室内具有多种混合气

体散发，异味较大，因此应设换气次数不少于 15 次/h 的机械通风装置，并参见本章第二节设计。

第十节 再生水深度处理建筑

一、工艺简介

再生水一般是城市污水经初步处理后的可再利用的水。再生水深度处理的目的是进一步去除污水中的悬浮物、脱色、除臭，使水进一步澄清；进一步减少有机物类，使水进一步稳定；脱氮、除磷，消除能够导致水体富营养化的因素；消毒、杀菌，去除水中的有毒有害物质。

根据再生水的水质及水量、补充水水质指标、循环水浓缩倍数和换热设备的材质、结构形式等条件，可以选择不同的处理工艺，主要的处理工艺包括曝气生物滤池、石灰处理、混凝澄清、pH 调整、消毒、过滤或浸没式（生物加强）超滤或生物膜（MBR）等。

二、工艺对环境要求

（1）再生水深度处理站在集中供暖区时，应设置供暖设施。

（2）再生水深度处理站根据所采用的工艺设置通风系统，污水在处理过程中本身也会散发出污浊的气体，对运行人员的健康造成一定的影响，应设置通风装置。

（3）石灰处理的内容参见本章第二节。

（4）浸没式过滤装置等敞开式设备通常用于再生水处理系统，在清洗过程中有大量次氯酸钠气体溢出，对周围的设施有腐蚀性。同时，次氯酸钠稀溶液对人体存在危害，此间应设置强制通风系统。

三、供暖

1. 供暖原则

按 DL/T 5035—2016 执行，当过滤间或各种水池单独设置厂房时，冬季供暖室内计算温度按 10℃设计。再生水深度处理站的操作间，冬季供暖室内计算温度按不低于 16℃设计。单独的水泵间，冬季供暖室内计算温度按不低于 5℃设计。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如 110/70、95/70℃等。

3. 通风热补偿

冬季供暖系统设计应考虑通风系统连续运行工况下的热补偿。严寒地区和寒冷地区的再生水深度处理站的冬季排风热损失即可以由供暖系统补偿，也可单独设置热风补偿。

4. 防腐

散发腐蚀性气体和储存腐蚀性药品的房间，供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

四、通风

（1）当采用石灰法、曝气法处理再生水时，工艺系统散发出大量的湿气，夏季室内通风应以排除湿气为主，通风换气次数不应少于 6 次/h，集中供暖地区的冬季通风量可按换气次数不少于 2 次/h 计算。冬季为防止进风造成室内底部温度过低以及负压过大，冬季进风口宜布置在厂房上部，冷风热损失宜由供暖系统补偿。

（2）对浸没式超滤装置，可能产生或溢出有害物质的设备，当布置在单独的房间内时，宜采用全面机械通风换气，通风换气次数不应少于 10 次/h。当与其他设备布置在同一房间时，宜设置局部机械通风装置，如吸风罩、吸风口等。

（3）再生水深度处理站的过滤间，通风换气次数不应少于 6 次/h。

（4）再生水深度处理站的药品库，通风换气次数不应少于 10 次/h。

（5）泵房宜采用自然通风方式。

（6）通风设备、风管及附件均要求防腐。

第十一节 海水淡化建筑

一、工艺简介

滨海建设的火力发电厂多采用海水淡化获取淡水资源。目前火力发电厂海水淡化多采用反渗透法。

海水淡化前的预处理是在海水中加氧化剂、絮凝剂、助凝剂等，对海水原水沉淀澄清，经过滤器和/或超滤装置进行处理。

反渗透系统包括 5μ 保安过滤器、高压泵、反渗透膜组件、能量回收装置、冲洗系统、清洗系统及控制仪表等。

蒸馏法海水淡化又称为热法海水淡化，将前期预处理过的海水通过提升泵注入蒸发器后，加热海水使之沸腾汽化，再把蒸汽凝结成淡水的方法。

反渗透法海水淡化建筑一般包括预处理间、过滤间、海水淡化间、清洗设备间、高压泵间、低压泵间、加药间、药品储存间等。蒸馏法海水淡化还包括热交换器间等。

二、工艺对环境要求

（1）海水淡化建筑在集中供暖区时，应设置供暖设施。

（2）预处理间的反应沉淀池、澄清水池等设置强制通风系统。

（3）当海水淡化采用反渗透工艺时，各工艺房间的要求见本章第二节。

（4）蒸馏法海水淡化装置本体设备一般布置在室外，热交换器间、水泵间等布置在本体设备附近，室内散热量较大。室内的温度宜控制在40℃以下。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算温度按DL/T 5035—2016中的规定执行，各房间的温度、相对湿度见表6-27。

表6-27　各房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
海水淡化预处理清水泵房、污泥泵房、脱水机间、高压泵间、低压泵间、蒸馏法热交换器间	—	—	≥5	—	
药品储存间、泥饼间	—	—	≥10	—	
清洗设备间、海水淡化间、过滤间、加药间	—	—	≥16	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表6-28。

表6-28　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
海水淡化预处理清水泵房、低压泵间、海水淡化间、过滤间	√	√	—	—	
海水淡化预处理泥饼间、污泥泵房、脱水机间、高压泵间、清洗设备间、加药间、药品储存间、蒸馏法热交换器间	√	—	√	—	

注　√表示采用的设计内容。

四、供暖

1. 供暖原则

（1）各房间的室内供暖设计温度见表6-27。

（2）清洗设备间、海水淡化间、过滤间、加药间、药品储存间及海水淡化的调质间等的工艺要求参见本章前面各节中的描述，供暖系统设计应满足室内温度要求。

（3）蒸馏法热交换器间和泵间在不计室内余热量的情况下，冬季供暖室内设计温度按5℃计算。

（4）通风系统的冷风热损失宜由供暖系统补偿。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

3. 防腐

供暖系统的散热器和室内管网系统应做好防腐处理。

合理布置供暖系统，以减少过门沟或穿越化学排水沟道，避免含酸或海水的废水渗入沟内造成腐蚀。

五、通风

（1）海水淡化预处理反应沉淀池、澄清水池、泥饼间、污泥泵房、脱水机间等工艺系统散发出大量的湿气，夏季室内通风应以排除湿气为主，通风换气次数不应少于6次/h，集中供暖地区的冬季通风量可按换气次数不少于2次/h计算。

（2）过滤间、反渗透法的海水淡化车间内设有超滤装置和反渗透装置，与一般化学水处理室内设备相似，参见本章第二节。

（3）清洗间内设有清洗水箱、清洗水泵、保安过滤器等。清洗水箱根据反渗透膜的酸碱性配置清洗液，其添加的药液具有酸性或碱性。各类加药间、药品储存间内分别储存有酸、碱、阻垢剂、还原剂、杀菌剂、消泡剂、缓蚀剂、凝聚剂及助凝剂等药品。其室内供暖通风设计参见酸库、碱库及计量间的要求设计。

（4）高压泵间室内的设备散热量大，一般采用机械通风方式，通风量按排除余热量计算。

（5）当采用蒸馏法海水淡化工艺时，蒸馏法海水淡化装置本体设备一般布置在室外，热交换器间、水泵间等布置在本体设备附近。受面积所限，室内布置一般较为紧凑。热交换器间和水泵间等室内布置有热交换器、水泵及工艺管道等，表面温度均较高，室内散热量较大。热交换器间和泵间等工艺房间宜设置换气次数不少于15次/h的机械排风装置。室内的温度宜控制在40℃以下。其他各工艺房间的通风系统设计应按本章第二节设计。

第十二节　油处理建筑

一、工艺简介

油处理的对象通常为变压器绝缘油和汽轮机的透平油等。油处理系统的任务是除去油中的有害物质。油处理的方法可分为物理净化、物理化学再生和化学

再生等，以达到对运行油、旧油、废油的脱水、脱气、除酸、除油泥、除固体颗粒等处理目的。

为油处理系统设置的建筑物通常有油处理室、油罐间等。

油品的分析监测装置设在化学处理室的试验楼内，其内容参见本章第六节。

二、工艺对环境要求

（1）油处理建筑在集中供暖区时，应设置供暖设施。

（2）油处理室是对油进行过滤、再生处理的车间，操作过程中容易产生油质挥发，生成有害气体，需要进行通风。

三、供暖通风与空气调节设计原则

1. 室内空气设计参数

各房间的室内计算的温度、相对湿度见表6-29。

表6-29　房间的温度、相对湿度

房间名称	夏季		冬季		备注
	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
油处理室、油罐间	—	—	≥16	—	

2. 设计内容

各房间的具体设计内容见表6-30。

表6-30　各房间的具体设计内容

房间名称	设计内容				备注
	供暖	通风		空气调节	
		自然	机械		
油罐间、油处理过滤间	√	√	—	—	
油处理再生间	√	—	√	—	

注　√表示采用的设计内容。

3. 通风方式

油处理建筑通风方式见表6-31。

表6-31　油处理建筑通风方式

房间名称	余热或有害物	换气次数（次/h）	通风方式	备注
油罐间、油处理过滤间	油气	—	自然通风	
油处理再生间	油气	≥10	自然（机械）进风、机械排风	防爆

注　冬季需要补热风时，采用机械进风方式。

四、供暖

1. 供暖原则

（1）各房间的室内供暖设计温度见表6-29。

（2）油处理室严禁采用明火取暖。

（3）油设备间的供暖用电设备满足防爆要求。

（4）通风系统的冷风热损失宜由供暖系统补偿。

2. 热媒

供暖热媒应采用厂内供暖管网的热水，供回水温度与厂区供暖管网水温一致，如110/70、95/70℃等。

五、通风

（1）油过滤间、油罐间一般采用自然通风方式。

（2）油再生间应设机械通风装置，排风系统的吸风口宜靠近有害气体和粉尘散发处；通风量按换气次数不少于每小时10次确定；室内空气不允许再循环；通风机和电动机应为防爆式，并应直接连接。

（3）油处理室和油罐间属于丙类建筑，按GB 50016—2014中的要求设计排烟措施。面积大于300m^{2}的油处理室和占地面积大于1000m^{2}的油罐间应设置排烟设施。

第七章

生产辅助及附属建筑供暖通风与空气调节

第一节 除灰、除渣及炉后建筑供暖通风与空气调节

一、除灰、除渣及炉后建筑供暖与通风概述

除灰、除渣及炉后建筑是完成火力发电厂燃煤燃烧后的灰、渣处理等工艺的场所，主要包括灰渣泵房、引风机室、空气压缩机室、除尘器区域、灰库、渣仓等。

1. 供暖

除灰、除渣及炉后建筑供暖室内设计温度见表7-1。其中，空气压缩机室供暖室内设计温度参见本章第五节。各房间供暖系统热媒采用厂区供暖热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。

表 7-1 除灰、除渣及炉后建筑供暖室内设计温度

建筑物名称	室内设计温度（℃）	建筑物名称	室内设计温度（℃）
灰渣泵房	5（按值班供暖设计）	除尘器室下部灰斗封闭区域	10
引风机室	16	灰库	10
渣仓	10		

2. 通风

除灰及除渣建筑通风方式见表 7-2。其中，空气压缩机室供暖见本章第五节相关描述。

表 7-2 除灰、除渣及炉后建筑通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
灰渣泵房	排除余热、余湿	按排除余热和换气次数分别计算，取大值	自然通风或机械通风
除尘器区域	排除余热、通风换气	按排除余热和换气次数分别计算，取大值	自然通风或机械通风
引风机室	排除余热、通风换气	按排除余热和换气次数分别计算，取大值	自然通风或机械通风

二、灰渣泵房供暖与通风

1. 工艺简介

灰渣泵房是收集、输送炉渣及细灰的成套设施。炉渣是锅炉燃烧残存在炉膛底部灰斗内的颗粒状或焦块状的固体。细灰是烟气通过锅炉尾部、烟道及除尘器时从烟气中分离、沉积在灰斗内的粉末状物质。除渣过程中细灰和炉渣混合排除的系统称为灰渣混除系统，细灰和炉渣分别单独排除的系统称为灰渣分除系统。除灰输送方式根据燃煤电厂的水源条件、灰场距离、环境保护及综合利用条件确定，现在的火力发电厂多采用干式除灰方式，灰渣泵房已不常见，但个别火力发电厂仍有灰渣泵房。

2. 供暖

泵房内电动机散出的热量，冬季可作为供暖用，如热量不足时，可设置其他供暖装置，但停运时应保证室内温度不低于 5℃。

3. 通风

（1）灰渣泵房通风量宜按消除设备散热量计算。一般情况下，该通风量可满足排除室内余湿的要求。

（2）当灰渣泵的配用电动机布置在泵房地上部分时，一般采用自然进风、自然排风方式。当电动机本体有专门的通风要求时，根据要求确定通风方式。

（3）当灰渣泵布置在泵房地下部分时，泵房宜采用机械进风、自然排风方式。送风口靠近电动机，降低电动机附近的工作温度。

机械送风通风量按排除电动机和工艺管道散热量及按地下部分体积换气次数夏季不少于 15 次/h 计算，取两者中大值。冬季通风时，换气次数不少于 5 次/h。灰渣泵房的工艺管道水温通常较空气温度高，热水通过管壁传热散发热量到室内，在夏季计算室内余热时需考虑该部分散热量。散热量与热水温度、管径、管壁表面换热系数、空气温度等有关，应通过计算确定。当缺乏资料时，可按散热管道表面积，以散热量约为 $0.52kW/m^2$ 为参考数据进行计算。

（4）灰渣泵房内设备的散热量根据泵房内布置的

电动机的运行台数及功率计算，电动机的散热量计算式为

$$Q=\frac{P_N(1-\eta)}{\eta} \tag{7-1}$$

式中　Q——电动机的散热量，kW；

P_N——电动机的额定功率，kW；

η——电动机的效率，%，与电动机的型号、负荷有关，应由电动机厂家提供。当缺乏厂家资料时，可按表7-3取值。

表7-3　　电动机的效率

P_N（kW）	≤100	100＜P_N≤200	200＜P_N≤500	500＜P_N≤800	＞800
η	0.88	0.91	0.92	0.94	0.96

（5）排除室内设备及管道的散热量所需通风量计算式为

$$L=\frac{3600Q}{c_p\rho_{av}(t_p-t_j)} \tag{7-2}$$

式中　L——排出室内设备及管道的散热量所需通风量，m^3/h；

Q——室内设备及管道的散热量，kW；

c_p——空气比定压热容，取1.01kJ/（kg·℃）；

ρ_{av}——空气平均密度，kg/m^3；

t_j、t_p——进、排风温度，t_j取夏季通风室外计算干球温度，t_p排风温度不超过40℃。

三、引风机室供暖与通风

1. 工艺简介

引风机是从锅炉尾部将烟气抽出排入烟囱的风机通常采用电动机驱动或引风机汽轮机驱动两种形式。采用引风机汽轮机驱动时，1台引风机汽轮机配置1台凝汽器。引风机布置在除尘器后，通常1台大中型锅炉配置两台引风机，单台可满足锅炉负荷70%的要求。近几年也有锅炉辅机采用单系列的电厂，1台锅炉配置1台引风机。

2. 供暖

引风机室采用散热器供暖，保证室内温度不低于16℃。

3. 通风

引风机室宜采用自然通风方式，当自然通风不能完全排除室内热量时，应采用机械通风方式，通风量按排除电动机散热量及烟风管道散热量所需通风量计算，夏季通风应按照室内环境温度不高于40℃设计。电动机散热量计算见式（7-1），烟风管道散热量应通过计算确定，当缺乏资料时，可按烟风管道表面积，以约为$0.29kW/m^2$的单位散热量为参考数据进行计算。

若引风机为引风机汽轮机驱动时，还需考虑引风机汽轮机及凝汽器等设备的散热量，当缺乏资料时，可按引风机汽轮机及凝汽器表面积，以约为$0.1163kW/m^2$的单位散热量为参考数据进行计算。

四、除尘器区域供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

燃煤在炉膛燃烧后的烟气中含有大量粉尘，在排放之前，需要将粉尘从烟气中分离出来，避免污染大气，这个过程称为除尘。目前，所使用的除尘器有旋风除尘器、湿式除尘器、袋式除尘器、电除尘器以及电袋除尘器等。旋风除尘器、湿式除尘器已不多见，这里不做介绍。袋式除尘器是用滤袋把含尘气体中的尘粒阻留在滤袋的上气流侧，而净化气体则从滤袋的下气流侧排出。积在滤袋上的粉尘由各种清灰方式予以清落排走。电除尘器利用强电场使气体电离，即产生电晕放电，进而使粉尘荷电，并在电场力的作用下，将粉尘从气体中分离出来的除尘装置称为电除尘器。硅整流器一般布置在电除尘器本体上。电除尘器一般布置在锅炉后部，同时设置有电除尘器配电室、控制室等。在寒冷地区和严寒地区，电除尘器下部灰斗区域一般会考虑封闭。随着国家对环境污染物越来越严格的排放限制，电厂仅靠一种除尘方式，已经不能将烟气中的粉尘浓度降至国家规定的许可排放浓度，需要对烟气进行多级除尘。目前，一些电厂已经出现了电袋除尘器，即电除尘和袋式二级除尘器。

2. 供暖

供暖室内设计温度见表7-1。除尘器下部灰斗封闭区域的散热器布置在房间下部，干式除尘器下部的供暖系统平时可不运行，机组检修时运行。

3. 通风

（1）电除尘器配电室夏季室内环境温度不宜高于35℃。该房间周围空气含尘严重，应采用机械通风方式，进风应过滤，室内保持正压。排风设备可选用轴流风机或风机箱，进风设备可选用带有中效过滤器的新风机组。当夏季通风室外计算温度大于或等于30℃时，通风系统宜采取降温措施，降温的具体做法参见第四章第五节。

（2）除尘器下部灰斗封闭区域宜采用自然通风方式，当自然通风不能完全排除室内热量时，可采用机械通风方式。

4. 空气调节

电除尘器控制室和电除尘器继电器室应设置空气调节装置。空气调节设备配置不宜少于两台，维持室内微正压。电除尘器控制室和继电器室的空气调节设计参见第四章第一节。

五、灰库供暖与空气调节

1. 工艺简介

灰库是用于储放火力发电厂锅炉排出煤灰的装置，配置有进灰、卸灰及除尘设备，是除灰系统的末端。

2. 供暖

灰库设备间一般布置在灰库下部，通常采用散热器供暖。若灰库顶部除尘器间封闭，也需要布置散热器。灰库底部汽车卸灰部分通常不做供暖。

3. 空气调节

灰库控制室应设置空气调节装置。

六、渣仓

1. 工艺简介

渣仓是用于除渣系统的中转、储存的设备，它接收来自输送设备（如链斗输送机、斗式提升机）输送来的底渣，短暂存储后外运。

2. 供暖

渣仓是否供暖，要看是采用干除渣还是湿除渣工艺。当采用干除渣工艺时，非供暖区和寒冷地区的渣仓可不设置供暖系统。当采用湿除渣工艺时，寒冷地区和严寒地区均应设置供暖系统。渣仓采用散热器供暖，散热器一般布置在渣仓下部设备层。若渣仓上部除尘器间封闭，也需要布置散热器。

此外，经对火力发电厂调查，灰库、渣仓室内环境条件普遍较差，积尘严重。管理不善的火力发电厂灰库和渣仓地面灰尘甚至没过鞋面。为了清扫这些灰尘，可以考虑设置真空负压吸尘系统。其设计参见第二章第四节。

第二节　脱硫及脱硝建筑供暖通风与空气调节

一、脱硫及脱硝建筑供暖与通风概述

脱硫及脱硝建筑是用来处理煤燃烧后产生的含有大量硫和硝的废气的工艺建筑。

（1）脱硫技术种类很多，目前按脱硫过程是否加水和脱硫产物的干湿形态，烟气脱硫可分为湿法、干法和半干法三大类。

常用的湿法烟气脱硫技术有石灰石-石膏法、间接的石灰石-石膏法、湿式氨法、海水法、液相催化法等。常用的干法烟气脱硫技术有活性炭吸附法、电子束辐射法、荷电干式吸收剂喷射法、金属氧化物法等。半干法脱硫技术有喷雾干燥法、半干半湿法、粉末-颗粒喷动床法、烟道喷射法等。

石灰石-石膏法是目前世界上最成熟、应用最广泛的技术，该技术主要包括烟气换热系统、吸收塔脱硫系统、石灰石浆液制备系统、亚硫酸钙氧化系统、石膏脱水系统等几部分。其脱硫过程：烟气经过除尘器、换热系统进入吸收塔，在吸收塔中与石灰石浆液接触，浆液吸收烟气中的二氧化硫，生成亚硫酸钙，随后亚硫酸钙经过亚硫酸钙氧化系统被氧化成硫酸钙（石膏）。本工艺脱硫效率可以达到95%以上，适用范围广，工艺成熟，运行稳定，是大中型燃煤电厂脱硫工艺的首选方法之一。石灰石-石膏法工艺示意见图7-1。

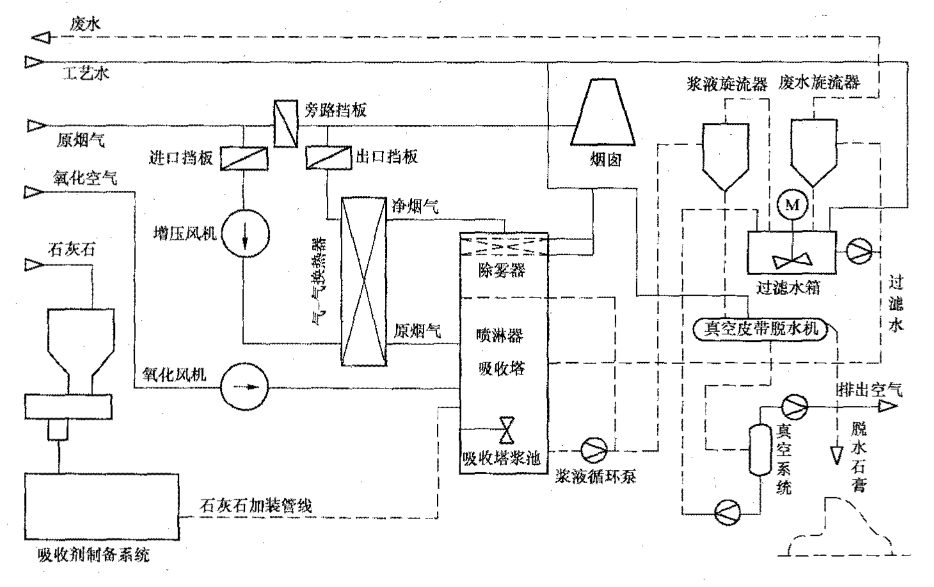


图7-1　石灰石-石膏法工艺示意图

根据不同的脱硫工艺，石灰石-石膏法主要设置有氧化风机房、浆液循环泵房、吸收剂制备车间、石膏

脱水车间、GGH 设备间、脱硫废水车间、石灰石卸料斗及石灰石储仓、石灰石粉仓等；湿式氨法主要设置有硫酸铵制备车间、硫酸铵仓库等；海水法主要设置有海水升压泵房、曝气风机房等。各种脱硫工艺一般均设有脱硫配电间、脱硫控制室及电子设备间等。

（2）脱硝技术一般可分为燃烧前脱硝、燃烧中脱硝和燃烧后脱硝。

目前，应用较多的是燃烧后脱硝法，包括选择性催化还原（SCR）脱硝技术、选择性非催化还原（SNCR）脱硝技术、SNCR-SCR 联合工艺脱硝技术，其中 SNCR 脱硝效率在大型燃煤机组中可达 25%～40%，对小型机组可达 80%。由于该法受锅炉结构尺寸影响很大，多用作低氮燃烧技术的补充处理手段。

SCR 是目前最成熟的烟气脱硝技术，SCR 工艺主要分为氨法 SCR 和尿素法 SCR 两种。这两种方法都是利用氨对 NO_x 的还原功能，在催化剂的作用下将 NO_x（主要是一氧化氮）还原为对大气没有多少影响的氮气和水，还原剂为氨气。

综合说来，脱硝工艺主要设置有还原剂车间、液氨蒸发设备间及卸氨压缩机房、脱硝配电间、脱硝控制室及电子设备间等。

1. 供暖

脱硫及脱硝建筑供暖室内设计温度见表 7-4，各房间供暖系统热媒采用厂区供暖热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。

表 7-4　脱硫及脱硝建筑供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）	建筑物名称	室内温度（℃）
氧化风机房	5	海水升压泵房	5
浆液循环泵房	5	硫酸铵制备车间	5
吸收剂制备车间	10	硫酸铵仓库	5
石膏脱水车间	10	还原剂车间	5
GGH 设备间	16	液氨蒸发设备间	5
曝气风机房	10	卸氨压缩机房	5

2. 通风

脱硫及脱硝建筑通风方式见表 7-5，其中石灰石卸料斗及石灰石储仓、石灰石粉仓参见第五章第九节。

表 7-5　脱硫及脱硝建筑通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
氧化风机房	排除余热	按排除余热计算	自然通风或机械通风
浆液循环泵房	排除余热	按排除余热计算	自然通风或机械通风
吸收剂制备车间	排除有害气体	按换气次数 $n \geq 10$ 次/h 计算	机械通风
石膏脱水车间	排除有害气体	按换气次数 $n \geq 15$ 次/h 计算	机械通风
GGH 设备间	排除余热	按换气次数 $n \geq 10$ 次/h 计算	机械通风
曝气风机房	排除余热	按排除余热计算	自然通风或机械通风
海水升压泵房	排除余热	按排除余热计算	自然通风或机械通风
硫酸铵制备车间	排除有害气体	按换气次数 $n \geq 15$ 次/h 计算	机械通风
硫酸铵仓库	排除有害气体	—	自然通风
还原剂车间	排除有害气体	平时通风量按换气次数 $n \geq 6$ 次/h 计算，事故排风量应按 183m³/（h·m²）计算，且室内换气次数 $n \geq 12$ 次/h	自然通风或机械通风/事故通风
液氨蒸发设备间	排除余热、有害气体	平时通风量按换气次数 $n \geq 6$ 次/h 计算，事故排风量应按 183m³/（h·m²）计算，且室内换气次数 $n \geq 12$ 次/h	自然通风或机械通风/事故通风
卸氨压缩机房	排除余热、有害气体	平时通风量按换气次数 $n \geq 6$ 次/h，事故排风量应按 183m³/（h·m²）计算，且室内换气次数 $n \geq 12$ 次/h	自然通风或机械通风/事故通风

二、氧化风机房供暖与通风

1. 工艺简介

氧化风机是脱硫系统的辅助设备，其功能是将空气导入吸收塔，使吸收塔浆池内的亚硫酸钙充分、迅速地氧化成硫酸钙。

2. 供暖

氧化风机房采用散热器供暖，室内温度应不低于 5℃。

3. 通风

（1）当氧化风机的配用电动机采用水冷却方式时，可采用自然通风方式。

（2）当氧化风机的配用电动机采用风冷却方式时，应采用机械通风方式，通风量按排除室内余热计算，电动机的散热量或电动机效率应由厂家提供。当缺乏资料时，电动机的效率可见表 7-3 的推荐数据，并按式（7-1）的方法来计算散热量。排除电动机的散热量所需通风量计算见式（7-2）。

三、浆液循环泵房供暖与通风

1. 工艺简介

浆液循环泵的主要功能是将吸收塔中的浆液不断地循环，使烟气中的二氧化硫被完全吸收。

2. 供暖

（1）浆液循环泵房采用散热器供暖，室内温度应不低于5℃。

（2）冬季供暖热平衡计算时，供暖热负荷应计入连续运行的通风系统的补偿加热量。

3. 通风

浆液循环泵房宜采用自然通风方式，当自然通风方式不能满足要求时，应设置机械通风装置。

四、吸收剂制备车间供暖与通风

1. 工艺简介

在石灰石-石膏法脱硫中，吸收剂制备车间制造出石灰石浆以吸收烟气中的二氧化硫；在氨法脱硫中，吸收剂制备车间制造出氨水以吸收烟气中的二氧化硫。

2. 供暖

（1）吸收剂制备车间采用散热器供暖，室内温度应不低于10℃。

（2）冬季供暖热平衡计算时，供暖热负荷应计入连续运行的通风系统的冷风补偿加热量。寒冷地区可采用增加散热器数量的方法来进行热补偿，严寒地区应对进入室内的室外冷空气直接进行加热补偿。

（3）供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

（1）吸收剂制备车间应采用机械通风方式，通风量按换气次数不少于10次/h计算。

（2）通风设备、管道及附件均应防腐。

五、石膏脱水车间及GGH设备间供暖与通风

1. 工艺简介

在石灰石-石膏法脱硫中，石灰石浆在吸收了烟气中的SO_2和SO_3之后形成石膏浆，石膏浆在石膏脱水间中脱水，析出便于堆放及储存的石膏。脱硫处理后的烟气通过GGH设备加热，使排烟温度达到露点之上，以提高污染物的扩散度。

2. 供暖

（1）石膏脱水车间及GGH设备间采用散热器供暖。石膏脱水车间室内温度应不低于10℃，GGH设备间室内温度应不低于16℃。

（2）冬季供暖热平衡计算时，供暖热负荷应计入连续运行的通风系统的冷风补偿加热量。可采用增加散热器数量的方法来进行热补偿。

（3）供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

（1）石膏脱水车间应采用机械通风方式，通风量按夏季换气次数不少于15次/h、冬季换气次数不少于5次/h计算，石膏脱水间通风系统排风口宜设置凝结水排出设施。

（2）GGH设备间应采用机械通风方式，通风量按夏季换气次数不少于10次/h、冬季换气次数不少于5次/h计算。

（3）通风设备、管道及附件均应防腐。

六、曝气风机房供暖与通风

1. 工艺简介

海水法脱硫的曝气风机将空气导入曝气池，以充分、迅速地氧化曝气池内吸收了烟气中SO_2后的海水，将亚硫酸根离子氧化成硫酸根离子，使海水pH达标后排入大海。

2. 供暖

曝气风机房采用散热器供暖，室内温度应不低于10℃。

3. 通风

（1）当曝气风机的配用电动机采用水冷却方式时，可采用自然通风方式。

（2）当曝气风机的配用电动机采用风冷却方式时，应采用机械通风方式，通风量按排除室内余热计算，电动机的散热量或电动机的效率应由厂家提供。当缺乏资料时，电动机的效率可见表7-3的推荐数据，并按式（7-1）的方法来计算散热量。排除电动机的散热量所需通风量计算见式（7-2）。

七、海水升压泵房供暖与通风

1. 工艺简介

在海水法脱硫中，一般会设置海水升压泵作为脱硫用海水的给水泵，以满足海水法脱硫工艺所需海水的压力。

2. 供暖

海水升压泵房采用散热器供暖，室内温度应不低于5℃。

3. 通风

海水升压泵房一般为地上建筑，工艺无特殊要求，一般采用自然通风方式。

八、硫酸铵制备车间及硫酸铵仓库供暖与通风

1. 工艺简介

在氨法脱硫中，硫酸铵制备车间用于加热蒸发硫酸铵溶液，析出硫酸铵结晶，过滤干燥后可以用作化

肥产品。

2. 供暖

（1）硫酸铵制备车间及硫酸铵仓库采用散热器供暖，室内温度应不低于5℃。

（2）冬季供暖热平衡计算时，供暖热负荷应计入连续运行的通风系统的补偿加热量。寒冷地区可采用增加散热器数量的方法来进行热补偿，严寒地区应对进入室内的室外冷空气直接进行加热补偿。

（3）供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

（1）硫酸铵制备车间宜采用机械通风方式，房间维持负压。通风量按夏季换气次数不少于15次/h、冬季换气次数不少于5次/h计算。

（2）硫酸铵仓库宜采用自然通风方式。

（3）通风设备、管道及附件均应防腐。

九、还原剂车间、液氨蒸发设备间及卸氨压缩机房供暖与通风

1. 工艺简介

在脱硝系统中，还原剂车间制造出的液氨由卸氨压缩机输送到储氨罐内，再将储氨罐中的液氨输送到液氨蒸发槽内由液氨蒸发设备蒸发为氨气，最后将氨气用来吸收烟气中的NO_x。

2. 供暖

（1）还原剂车间、液氨蒸发设备间及卸氨压缩机房采用散热器供暖，室内温度应不低于5℃。

（2）还原剂车间严禁使用明火取暖。

（3）冬季供暖热平衡计算时，供暖热负荷应计入连续运行的通风系统的补偿加热量。

（4）供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

（1）还原剂车间、液氨蒸发设备间和卸氨压缩机房应设置平时通风系统及事故排风系统，事故排风机可兼作平时通风用。排风口应设置在房间的上部，排风应直接排至室外。平时通风和事故排风系统应符合下列要求：

1）平时通风宜采用自然通风方式。当自然通风不能满足要求时，应设置机械通风装置，房间维持负压。机械通风的换气次数不应小于6次/h。

2）事故排风量应按183m^3/（h・m^2）计算，且室内换气次数不应小于12次/h。事故排风机应与氨气泄漏检测报警仪联锁。

（2）若采用尿素制备还原剂，尿素溶解车间中设有尿素拆包设施和溶解罐。因拆包是由人工进行，在拆包过程中会产生尿素粉尘，吸入尿素粉尘对呼吸道黏膜有刺激作用，长时间吸入对人的呼吸系统会造成伤害，所以尿素溶解车间通风系统应按下列要求设计：

1）应设置全面通风系统和局部排风系统，维持室内尿素挥发气体浓度每班加权平均值不大于5mg/m^3。

2）全面通风系统可采用自然通风或机械通风方式，其排风量不应小于1次/h换气。当房间高于6m时，排风量可按6m^3/（h・m^2）计算。

3）尿素拆包作业区应设置局部通风系统，局部排风罩的投影面积应大于作业区面积，罩口距地坪高度不宜高于2m。

4）局部通风系统排风量可按罩口风速不大于2m/s计算。

（3）还原剂车间、液氨蒸发设备间和卸氨压缩机房的供暖通风设备、管道及附件应采取防腐措施，且不应使用铜材。

（4）还原剂车间、液氨蒸发设备间和卸氨压缩机房的通风机及电动机应为防爆式，并应直接连接。排风系统应设置导除静电的接地装置；排风设备不应布置在地下或半地下建筑（室）内；排风管应采用金属管道，并应直接通向室外安全地点，不应暗设。

十、脱硫（脱硝）配电间供暖与通风

1. 工艺简介

脱硫（脱硝）配电间的电压为380/220V，室内布置有低压开关柜、低压配电盘、干式变压器。

2. 供暖

脱硫（脱硝）配电间冬季供暖见第四章第五节。

3. 通风

脱硫（脱硝）配电间的通风部分见第四章第五节。

十一、脱硫（脱硝）控制室及电子设备间空气调节

1. 工艺简介

脱硫（脱硝）控制室是对脱硝（脱硫）工艺的电气及自动化设备等进行集中控制、测量、监视的建筑物，脱硫（脱硝）电子设备间用于摆放电气盘柜及控制系统主机柜等设备。

2. 空气调节

脱硫（脱硝）控制室和电子设备间应设置空气调节装置。夏季室内温度24～28℃，相对湿度40%～65%；冬季室内温度18～22℃，相对湿度40%～65%。空气调节装置宜按不少于两台设置。

第三节　水工建筑供暖通风与空气调节

一、水工建筑供暖与通风概述

水工建筑是完成取水、供水、排水、水处理等工

艺的场所，主要包括岸边水泵房、循环水泵房、消防水泵房、综合水泵房、净水站、生活污水处理站、含油污水处理站、脱硫废水处理站、含煤废水处理站、灰场管理站等。

1. 供暖

水工建筑供暖室内设计温度见表 7-6。各房间供暖系统热媒采用厂区供暖热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。当岸边水泵房和灰场管理站距厂区较远时可采用电供暖。

表 7-6　水工建筑供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）	建筑物名称	室内温度（℃）
岸边水泵房	5	生活污水处理站	16
循环水泵房	5	含油污水处理站	16
消防水泵房	5	脱硫废水处理站	16
综合水泵房	5	含煤废水处理站	16
净水站	16	灰场管理站	按房间性质确定

2. 通风

水工建筑通风方式见表 7-7。

表 7-7　水工建筑通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
岸边水泵房	排除余热、通风换气	按排除余热/按换气次数计算	自然通风或机械通风
循环水泵房	排除余热、通风换气	按排除余热/按换气次数计算	自然通风或机械通风
消防水泵房	排除余热、通风换气	按排除余热/按换气次数计算	自然通风或机械通风
综合水泵房	排除余热、通风换气	按排除余热/按换气次数计算	自然通风或机械通风
净水站	排除有害气体	按换气次数 $n\geqslant10$ 次/h 计算	机械通风
生活污水处理站	排除有害气体	按换气次数 $n\geqslant6$ 次/h 计算	机械通风
含油污水处理站	排除有害气体	按换气次数 $n\geqslant6$ 次/h 计算	机械通风
脱硫废水处理站	排除有害气体	按换气次数 $n\geqslant10$ 次/h 计算	机械通风
含煤废水处理站	排除余湿	—	自然通风或机械通风

二、岸边水泵房供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

设在水源岸边汲取地表水的供水建筑物，由进水间与水泵间组成。进水间设有进水井、滤网井及吸水井；水泵间内安装水泵机组、各种辅助水泵和起重设备，并布置有值班控制室及检修场地。

2. 供暖

（1）当岸边水泵房距离厂区较近时，采用厂区供暖热网提供的供暖热媒；较远时，其冬季供暖可直接采用电热风供暖设备、墙挂式自然对流电暖器、电热油汀等电暖设备供暖。

（2）冬季电动机排出的热空气可作为泵房供暖用。

（3）泵房冬季供暖热负荷按水泵全部停止运行时，室内温度不低于 5℃计算。采用钢制散热器作为供暖设备。

（4）计算地下泵房地下部分围护结构热负荷时，按一般地下室的计算方法。

3. 通风

（1）设计原则。

1）当水泵的配用电动机采用水冷却方式且布置在地上时，一般采用自然进风、自然排风方式。

2）当水泵的配用电动机采用风冷却方式，水泵地上布置且电动机容量小于 1000kW 时，泵房宜采用自然通风方式；水泵房地上布置且电动机容量大于 1000kW 时，一般采用机械通风方式。

机械通风按排除室内余热计算。电动机的散热量及散热量所需通风量计算见式（7-1）和式（7-2）。

3）水泵地下布置时，泵房地下部分一般采用机械通风方式，如图 7-2 所示。机械通风量按排除室内设备散热量及地下部分区域换气次数不少于 15 次/h 计算，取两者中大值。

4）当水泵的配用电动机采用风冷却方式且要求直接对电动机通风时，尽可能将风道接在水泵电动机的排风口上，排风系统可根据需要增设室内排风口，并应在排风道上装设切换阀，以便夏季电动机排风直接排至室外，冬季电动机排风则排入泵房兼做供暖用。

5）岸边水泵房通风设计举例见图 7-2。

（2）其他设计要点。

1）若泵房地下部分较深时，应考虑设置机械送风系统，将室外新鲜空气直接送至水泵安装位置及运行检修区域。排风可考虑在泵房地上部分采用机械排风方式或屋面采用风帽自然排风方式。设备台数不宜小于两台。

2）水泵的配用电动机采用空气冷却方式由室外直接吸风时，应对室外空气进行过滤处理。

3）当阀门间为独立建筑时，应考虑防冻措施。

4. 空气调节

岸边水泵房的值班控制室宜设置空气调节装置。

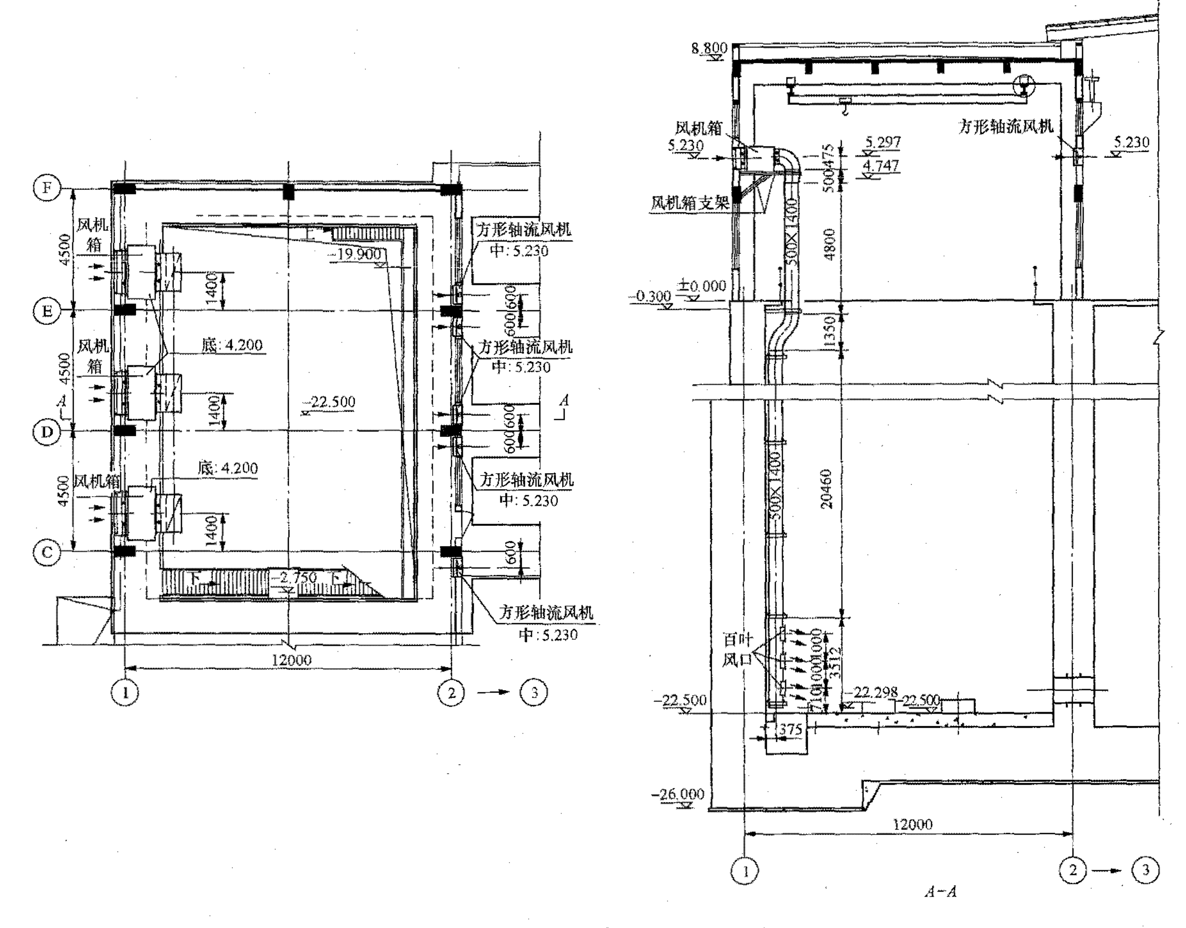


图 7-2 岸边水泵房通风设计举例图

三、循环水泵房供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

火力发电厂汽轮机凝汽器用冷却水采用冷却塔湿冷或间接空冷形式循环供水时，需要设置循环水泵。循环水泵是汽轮机凝汽器使用的冷却水经冷却设施冷却降温后，再次输入凝汽器循环使用的循环水加压装置。

循环水泵房内布置有循环水泵、冲洗水泵和排污泵等。当采用卧式循环泵时，一般为地下布置；当采用立式循环泵时，一般水泵部分布置在地下，电动机布置在地上。电动机控制一般采用辅网连接至 DCS，值班人员可在控制室直接观察水泵运行情况，定期到电动机及水泵处巡回检查。

2. 供暖

（1）冬季电动机排出的热空气可作为泵房供暖用。

（2）泵房冬季供暖热负荷按水泵全部停止运行时，室内温度不低于 5℃计算。采用钢制散热器作为供暖设备。

（3）计算水泵房地下部分围护结构的热负荷时，按地面传热的方法进行计算。

3. 通风

（1）间接空冷机组的循环水管内供回水温度通常较周围空气温度高，热水通过管壁传热散发热量到室内，在夏季计算室内余热时需考虑该部分散热量。散热量与循环水温度、循环水管的管径、管壁表面换热系数、空气温度等有关；而循环水温度又与当地气象条件及汽轮机背压有关，应通过计算确定。循环水的温度一般为 60～90℃，当缺乏资料时，可根据当循环水温度为 60℃时，散热量约为 0.41kW/m^2 为参考数据进行计算。

（2）其他通风部分见岸边水泵房的通风。

4. 空气调节

循环水泵房的值班室宜设置空气调节装置。

四、消防水泵房供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

消防水泵房是火力发电厂消防给水系统的心脏，负责火力发电厂消防时所需的水量和水压。火力发电

厂内一般设有独自用消防水泵房。泵房内一般设有两台消防主泵，两台稳压泵，均为一用一备，消防主泵的备用泵为柴油机驱动。

2. 供暖

泵房冬季供暖热负荷按全部水泵停止运行时，室内温度不低于 5℃计算。采用钢制散热器作为供暖设备。

3. 通风

消防水泵房宜采用自然通风方式。当自然通风不能满足要求时，应设置机械通风装置。

4. 空气调节

消防水泵房的值班室宜设置空气调节装置。

五、综合水泵房供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

综合水泵房是集中设置工业水泵、化学生水泵、循环水补充水泵、生活水泵、回用水泵等供水泵的建筑物。综合水泵房内有时还设有单独的加氯消毒设备间。

2. 供暖

（1）泵房冬季供暖设计要求见循环水泵房的供暖。

（2）加氯消毒设备间按室内温度 16℃设计供暖系统。

（3）加氯消毒设备间排风系统为非定期的间断运行，供暖系统设计时，排风造成的冷风渗透补偿加热量，宜由散热器供暖系统承担。供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

（1）加氯间通风设计参见第六章第五节。

（2）其余通风部分设计参见岸边水泵房的通风。

4. 空气调节

综合水泵房的值班室宜设置空气调节装置。

六、净水站供暖与通风

1. 工艺简介

火力发电厂汽轮机凝汽器冷却用循环水的补给水、工业水以及生活水，需要取自附近的河水、水库之类的区域，其水质不能满足火力发电厂的运行要求，一般需要设置净水站，将原水沉淀、过滤、加药、加氯处理成合格的工业水或生活水质送至厂区。

2. 供暖

（1）在严寒和寒冷地区，当沉淀、过滤等工艺设施布置在室内时，室内供暖设计温度应不低于 5℃。

（2）加药、加氯间按室内温度 16℃设计供暖系统。冬季排风造成的热损失可以由适当增加散热器数量的方法来补偿。供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

加药、加氯间通风参见第六章第五节。

七、生活污水处理站供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

生活污水处理是用物理、化学等方法对生活污水进行处理，使水质符合有关排放标准的工艺。生活污水主要包括洗涤、粪便、冲洗水等，污水中一般含有需氧有机物、病原微生物、无机性悬浮物和植物营养物等。

对于靠近城镇的火力发电厂，其生活污水一般排放于城市下水道管网系统，进入城市污水处理厂集中处理；远离城镇的火力发电厂，应单独设置生活污水处理站。生活污水处理站按处理程度可分为一级、二级、三级三个级别。火力发电厂的生活污水处理站，在非集中供暖地区，生活污水各处理装置一般设在室外或埋在地下；在集中供暖地区，生活污水各处理装置一般设在有供暖系统的车间内。

2. 供暖

（1）生活污水处理站的操作间及值班室按室内温度 16℃设计供暖系统。

（2）泵房冬季供暖设计参见循环水泵房的供暖。

（3）在集中供暖地区，生活污水处理站的污水调节池上部一般都进行了封闭（南方地区多为敞开式调节池）。冬季供暖热负荷按水泵全部停止运行时，室内温度不低于 5℃计算。采用钢制散热器作为供暖设备。该房间冬季通风系统为连续运行，冬季排风热损失宜补偿。

（4）供暖设备、管道及附件均应防腐。

3. 通风

（1）生活污水处理站在处理污水过程中需加氯，而且在初沉池、曝气池、氧化池等处理中产生二氧化硫和氮化物刺激气体，宜采用自然进风、机械排风的通风措施。

（2）室内设置的生活污水处理站中的污水调节池，当上部封闭时宜设置换气次数不小于 6 次/h 的机械排风装置，以排除室内刺激性气体，机械排风装置不宜少于两台，排风口应设在无人员经常通行的地点。

（3）生活污水处理站内的室内空气不应再循环。

（4）通风设备、管道及附件均应防腐。

4. 空气调节

生活污水处理站的值班室宜设置空气调节装置。

八、含油污水处理站供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

含油污水处理是将含油污水中的油分去除，使水质达到排放标准的工艺。发电厂的油污水主要是储油

罐、油罐车、卸载栈台、油泵房的排水及降雨排水和地面冲水等，含油量为600～10000mg/L，若含油污水直接排入河流、湖泊、海湾等，会污染水体，影响水生物的生存；若用于农业灌溉，则会堵塞土壤空隙，妨碍农作物生长。因此，对含油污水必须进行处理达到标准后才能排放。

2. 供暖

（1）含油污水处理站室内计算温度为16℃。

（2）冬季通风系统为连续运行。严寒地区和寒冷地区宜对排风热损失进行补偿。

3. 通风

（1）含油污水处理站应设换气次数不少于6次/h的机械排风装置，通风机和电动机应为防爆型，并应直接连接。

（2）含油污水处理站的室内空气不应再循环。通风机和电动机应为防爆式的，并应直接连接。

（3）排风系统应设置导除静电的接地装置；排风设备不应布置在地下或半地下建筑（室）内；排风管应采用金属管道，并应直接通向室外安全地点，不应暗设。

4. 空气调节

含油污水处理站的值班室宜设置空气调节装置。

九、脱硫废水处理站供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

烟气脱硫后排出的废水中含有大量亚硝酸盐、亚硫酸盐、有机物等还原性物质，废水处理系统是将脱硫工艺产生的废水流入水质调节槽，经废水处理装置沉淀、絮凝、澄清、沙滤、pH调节，达到国家排放标准后将其排放。脱硫废水中没有特殊的有害气体，在废水处理过程中，也多为去除钙、镁离子的沉淀过程，没有有害气体产生。

2. 供暖

（1）脱硫废水处理站室内计算温度为16℃。

（2）严寒地区和寒冷地区的脱硫废水处理站，冬季通风系统可以根据实际情况间歇运行，冬季排风热损失可以由适当增加散热器数量的方法来补偿。

3. 通风

（1）脱硫废水处理站应设换气次数不少于10次/h的机械排风装置，通风设备及管道应防腐。

（2）室内空气不允许再循环。

4. 空气调节

脱硫废水处理站的值班室宜设置空气调节装置。

十、含煤废水处理站供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

燃煤电厂在正常的生产运行过程中，为防止运煤系统产生扬尘及保持良好的工作环境，除采取防尘设施外，要定期对运煤栈桥、转运站、煤仓间、磨（碎）煤机室等部位进行水冲洗，冲洗后的排水和除尘设施使用后的废水形成了含煤废水。含煤废水中含有一部分较大的煤粉颗粒、大量的悬浮物及很高的色度。这部分废水不能直接排放，也不能直接回收利用，需要进行适当地处理以满足回收利用水质的要求。大多数燃煤电厂含煤废水传统的处理工艺是将含煤废水排至沉煤池中先进行简单地沉淀处理，再经水处理一体化设备进一步沉淀过滤处理，出水直接回收用于运煤系统冲洗补充水及喷洒除尘。

2. 供暖

（1）含煤废水处理站室内计算温度为16℃。

（2）严寒地区和寒冷地区的含煤废水处理站的排风系统为非定期的间断运行，供暖系统设计时，可只补偿围护结构热损失，不考虑排风造成的冷风渗透补偿加热量，该部分补偿量宜由散热器供暖系统承担。

3. 通风

（1）含煤废水处理站宜采用自然通风方式，当自然通风不能完全排除室内潮气时，应采用机械通风方式，换气次数可取6次/h。

（2）室内空气不允许再循环。

4. 空气调节

含煤废水处理站的值班室宜设置空气调节装置。

十一、灰场管理站供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

火力发电厂锅炉排出的灰、渣需场地放置，灰、渣分除时则分别设置灰场和渣场。利用汽车或管道将灰、渣运输至厂外综合利用。灰场总容积应按事故灰场容积设置，一般按3年灰渣总量考虑。

2. 供暖

灰场管理站位置一般离厂区较远，通常设置独立的供暖系统，可采用电供暖装置。

3. 通风

灰场管理站一般为地上建筑，通常采用自然通风方式。

4. 空气调节

灰场管理站控制室宜设置空气调节装置。

第四节　启动锅炉房供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

为满足新建火力发电厂机组初次启动的需要，需设置启动锅炉作为提供辅助蒸汽系统的汽源。启动锅炉的形式有燃煤锅炉、燃油锅炉及燃气锅炉等。

2. 供暖

启动锅炉房供暖室内设计温度见表7-8。各房间供暖热媒采用厂区供暖热网提供的热媒。散热器采用钢制散热器。

表 7-8　启动锅炉房供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）
燃煤、燃油、燃气锅炉间	12（经常有人操作时）
	5（设有控制室，经常无人操作时）
燃气调压间、油泵房、化学品库、出渣间、风机间、水箱间、运煤走廊	5
值班室	≥18
控制室、化验室、办公室	≥18
水处理间	15

（1）启动锅炉房锅炉间的供暖热负荷的计算方法与主厂房一致。

（2）设置集中供暖的地区，启动锅炉房内各生产用房，当启动锅炉运行时的冬季室内温度见表 7-8，在非生产时间的冬季室内计算温度宜为 5℃。

3. 通风

启动锅炉房通风方式见表 7-9。

表 7-9　启动锅炉房通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
燃煤、燃油、燃气锅炉间	排除余热、有害气体	按排除余热/按换气次数计算	自然通风或机械通风/事故通风

注　启动锅炉房内其他房间的通风参见各相关章节的相同房间。

（1）启动锅炉房的锅炉间宜采用自然通风方式，底层侧窗或进风百叶进风，排风从屋顶通风器或通风天窗排风。通风量的计算方法与主厂房内锅炉房的通风量计算方法相似。

（2）锅炉间、凝结水箱间、水泵间和油泵间等房间的余热，宜采用有组织的自然通风排除。当自然通风不能满足要求时，可设置机械通风装置。

（3）燃油、燃气启动锅炉房的锅炉间宜采用机械排风方式，排风装置应防爆。

（4）燃油、燃气启动锅炉房的锅炉间设在其他建筑物内时，应设置独立的送排风系统，其通风装置应防爆，且必须符合下列要求：

1）锅炉房设置在首层时，对采用燃油作燃料的，其正常换气次数应不少于 3 次/h，事故状态下的总换气次数应不少于 6 次/h；对采用燃气作燃料的，其正常换气次数不应少于 6 次/h，事故状态下的总换气次数应不少于 12 次/h。

2）锅炉房设置在半地下或半地下室时，其正常换气次数不应少于 6 次/h，事故换气次数不应少于 12 次/h。

3）锅炉房设置在地下或地下室时，其换气次数不应少于 12 次/h。

4）送入锅炉房的新风总量，必须大于锅炉房 3 次的换气量。

5）送入控制室的新风量，应按最大班操作人员计算。

以上所指换气量均不包括锅炉所需要的空气量。

（5）燃气调压间等有爆炸危险的房间，换气次数应不少于 3 次/h。当自然通风不能满足要求时，应设置机械通风装置，并应设总通风量不少于 12 次/h 的事故状态下的通风装置，通风装置应防爆。

（6）通风装置防爆的排风系统应设置导除静电的接地装置；排风设备不应布置在地下或半地下建筑（室）内；排风管应采用金属管道，并应直接通向室外安全地点，不应暗设。

（7）油泵间的通风参见本章第六节。其他通风部分参见 GB 50041—2008 的有关规定。

4. 空气调节

启动锅炉房控制室可设置空气调节装置。

第五节　空气压缩机室供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

火力发电厂中一般设独立的空气压缩机室，向电厂有关设备提供运行、检修、维护用的压缩空气。压缩空气系统分为风动工具及设备检修吹扫用的厂用空气系统和气动操作仪表及控制设备用的仪用空气系统。压缩空气系统的设备一般包括吸入空气压缩机、除油过滤器、压缩空气干燥器、除尘过滤器、储气罐和压缩空气管道、阀门附件等。

2. 供暖

（1）为了防止冬季空气压缩机停运时水冻结，以及空气压缩机因润滑油黏度过大而无法启动，空气压缩机室供暖系统应按照值班供暖温度不低于 5℃设计。供暖热媒采用厂区供暖热网提供的热媒。散热器采用钢制散热器。

（2）供暖地区的空冷空气压缩机室可充分利用空气压缩机的运行排热量。在空气压缩机的排风管道上设置切换阀，非供暖季节运行时高温空气直接排至室外，冬季热风排至室内，以利用设备散热量提高室内温度。

（3）空气压缩机冬季室内吸风时，供暖系统宜采用散热器值班供暖系统＋热风供暖系统联合运行方

式。热风供暖系统可采用机械送热风装置、暖风机加热方式。

（4）空气压缩机室内吸风时，应按下列原则进行热平衡计算：

1）室内供暖计算温度为10～16℃。

2）室外进风量计算式为

$$L_{bf}=\Sigma L_N n \quad (7\text{-}3)$$

式中　L_{bf}——室外进风量，m^3/h；

L_N——空气压缩机额定吸风量，$m^3/(h\cdot台)$；

n——空气压缩机同时运行的台数，台。

3）围护结构热损失。（不计加热门、窗缝隙渗入室内的冷空气耗热量）

4）室外进风温度按室外供暖计算温度选取。

5）空气压缩机室冬季热平衡计算式为

$$Q_1+Q_2+Q_3=Q_1'+Q_2' \quad (7\text{-}4)$$

式中　Q_1——室内散热器供暖系统散热量，kW；

Q_2——空气压缩机工艺设备散热量，kW；

Q_3——热风补偿系统带入房间的热量，kW；

Q_1'——房间围护结构热损失，kW；

Q_2'——补偿空气压缩机室内吸风的热损失，kW。

补偿空气压缩机室内吸风的热损失Q_2'计算式为

$$Q_2'=\frac{L_{bf}c_p\rho_w(t_n-t_w)}{3600} \quad (7\text{-}5)$$

式中　c_p——干空气的比定压热容，取1.01kJ/（kg·℃）；

ρ_w——对应冬季供暖室外计算温度的空气密度，kg/m^3；

t_n——室内设计温度，10～16℃；

t_w——室外设计温度，按冬季供暖室外计算温度选取，℃。

（5）采用加热送风机组热风补偿时，应按以下原则进行设计：

1）送风温度计算式为

$$t_s=\frac{3600Q}{Lc_p\rho_w}+t_w \quad (7\text{-}6)$$

式中　t_s——加热送风机组的送风温度，℃；

Q——加热送风机组的加热量，kW，按式（7-4）平衡计算后确定的Q_3值；

L——加热送风机组的送风量，m^3/h，同L_{bf}的计算式，见式（7-3）。

2）加热送风机组的进风应设置防冻装置。

3）加热送风机组应设置自动控制装置，根据送风温度变化调节热水流量，节约使用能源。

4）加热送风机组与空气压缩机联锁运行。

5）进风应过滤。

（6）冬季室外空气自然进风时，应按以下原则进行设计：

1）室内供暖设备宜采用散热器，不足部分暖风机补充。

2）冬季进风口下缘宜设置在房间的上部，以减少室外冷空气对室内温度的影响。当有条件时，其进风口距室内地坪的距离不宜小于4m。

3）冬季进风口应有关断装置，空气压缩机停运时进风口应关闭。

4）暖风机供暖系统与空气压缩机联锁运行。

3．通风

（1）空气压缩机室夏季通风应按室内环境温度不高于40℃设计。

（2）空气压缩机室宜采用自然通风方式，通风量应根据空气压缩机的冷却和吸气方式确定。空气压缩机室一般空间较大，当设备冷却方式为水冷时，或空冷压缩机发热通过排风管直接排至室外时，通常采用自然通风方式可满足要求。当设备冷却方式为空冷且空冷压缩机发热直接排至室内或自然通风方式不能满足室内温度要求时，空气压缩机室应采用机械通风方式。

机械通风方式按排除室内余热计算，室内余热量宜为空气压缩机设备散热量与干燥器的设备散热量之和。

（3）对集中供暖地区，空气压缩机吸气系统的吸气口，宜设在室外。对非集中供暖地区，若空气压缩机在室内吸气，当空气压缩机室门窗紧闭时，室内将出现负压，使工作人员产生不适感并影响空气压缩机的性能。因此，需在空气压缩机室外墙上设置进风口，外墙上设置的自然进风口应满足下列规定：

1）自然进风口通流面积应满足空气压缩机吸气和设备冷却所需风量之和，通流断面风速宜选用2.5m/s。

2）夏季自然进风口的下缘距室内地面不宜大于1.2m。

3）集中供暖地区冬季自然进风口的下缘距室内地面高度不宜小于4m。

（4）空气压缩机组的设备散热量应由制造厂家提供，当缺乏厂家资料时，可参考如下取值或计算：

1）水冷活塞式空气压缩机散热量取电动机安装容量的15%。

2）水冷螺杆式空气压缩机散热量取电动机安装容量的10%～12%。

3）风冷活塞式空气压缩机（设备热量散至室内）散热量取电动机安装容量的65%左右。

4）风冷螺杆式空气压缩机（设备热量散至室内）散热量取电动机安装容量的40%～48%。

5）风冷空气压缩机（设备热量用排风管排至室外）室内散热量可参照相应水冷空气压缩机的散热量

取值。

6）离心式空气压缩机散热量计算。

a. 电动机的散热量计算式为

$$Q_e = K_e \times \frac{P_e}{\eta_e}(1-\eta_e) \qquad (7\text{-}7)$$

式中 Q_e——电动机散热量，kW；

K_e——电动机散热系数，当电动机无机械通风或通风直接排至室内时，K_e=1；当电动机通风接至室外或带有冷却器时，K_e=0.08～0.10；

P_e——电动机功率，kW；

η_e——电动机效率，当无工艺专业资料时 η_e= 0.85～0.93。

b. 离心式压缩机本体设备散热量计算式为

$$Q_c = K_c P_c \qquad (7\text{-}8)$$

式中 Q_c——离心式压缩机本体设备散热量，kW；

K_c——散热系数，一般取 0.001；

P_c——离心式压缩机轴功率，kW。

式（7-7）、式（7-8）摘自参考文献［18］。

4. 空气调节

空气压缩机控制室应设置空气调节装置。

第六节　油泵房供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

油泵房是布置燃料油卸载、转运、供油设备的建筑，一般设在油库区内，通常为独立的建筑物，室内设备散热量较大，根据所在电厂的条件和技术要求可以采用地下、半地下或地面式布置。油泵房内主要配有卸油和供油泵，多选用离心式、往复式、螺杆式、齿轮式油泵，并配防爆式电动机驱动。油料的加热装置通常露天布置在室外。

2. 供暖

（1）为了便于输送，油泵房内输油管的重油需加热至 160～170℃，轻油加热至 40～50℃。因此，油泵房内工艺设备散热量较大，一般泵房内不需要供暖，在集中供暖地区，应设置值班供暖，按 5℃进行设计。供暖热媒采用厂区热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。

（2）通风所带走的热量，可由增加散热器数量的方法进行补偿。在严寒地区，当采用散热器进行补偿不能满足要求时，可设置空气加热系统对进风进行加热处理。

3. 通风

（1）有害物。油泵房通常是将室内散发的热量及易燃的油蒸汽排出。不同产地原油所含成分不同，其油蒸汽对人体的影响也不同。含芳香烃的硫化物，其油蒸汽具有麻醉和痉挛作用，尤其是硫化氢可使人造成急性或慢性中毒，油蒸汽的烃态气体在一定浓度下与空气混合，会发生爆炸。

（2）设计原则。

1）当油泵房为地上建筑时，考虑到爆炸泄压的要求，需要较多可以开启的外侧窗，建筑上具备自然通风的条件，可以利用穿堂风组织自然通风，但在集中供暖地区，自然进风会加剧供暖系统的负荷，所以为保证冬季室内设计温度，应根据当地气象条件确定采用自然通风方式或机械通风方式。

当油泵房采用地下或半地下布置时，窗户大多布置在油泵房上部，而油泵房的管道及散热设备多沿室内地面布置且面积较小，室内余热大多聚集在泵房下部，往往造成热空气的涡流区，因而地下油泵房应采用机械通风方式。

2）严寒地区和寒冷地区的油泵房冬季通风应进行热补偿。

在严寒地区，当设置空气加热系统对进风进行加热处理时，冬季、夏季可以合用一套通风系统，从而地上油泵房也可采用机械通风方式。

3）油泵房的通风量应取下列三项计算结果较大值：

a. 排除余热所需的风量。

b. 换气次数不少于 12 次/h 的事故通风量。

c. 空气中油气的含量不超过 350mg/m^3 及体积浓度不超过 0.2%所需的通风量。

4）室内空气不应再循环。

5）当油泵房采用机械进风、机械排风方式时，为了保证油泵房内处于负压，避免油泵房内有害气体溢入邻室，排风量应比送风量大 10%～20%。

6）油泵房及油管沟的风机及电动机应为防爆式，并应直接连接。排风系统应设置导除静电的接地装置；排风设备不应布置在地下或半地下建筑（室）内；排风管应采用金属管道，并应直接通向室外安全地点，不应暗设。

7）油泵房通风系统的风道及附件应采用不燃烧材料。排风道不应设于墙体内，通风道不应穿过防火墙，如不能避免时，应在穿墙处设防火阀，穿过防火墙的风道与防火之间的间隙必须用不燃烧材料填塞。

（3）其他设计要点。

1）当油泵房采用机械通风方式时，考虑到油蒸汽比空气重，排风量一般从泵房上部排出 1/3，从泵房下部排出 2/3，机械进风送入的新鲜空气应全部送到作业地带，送风口宜设置于离室内地面 0.5m 高的

地方。出口风速可取不大于2.5m/s。

2）油泵房通风的进、排风风道不宜布置在同一侧墙体上，进风口应在排风口上风侧。

3）通行和半通行的油管沟必须考虑通风设施，通风量按排除油管沟的余热量计算，排风温度不大于40℃，冬季管沟内温度不低于5℃。

4）油泵房控制室应保持正压。

5）油泵房的通风系统应安全可靠。在布置通风系统时，应考虑通风系统故障停运的情况下，利用侧窗补风或排风的可能性。

6）通风机室的门不得直接通向油泵房。

4. 空气调节

油泵房控制室可设置空气调节装置。

第七节　供热首站及热泵机房供暖与通风

一、供热首站及热泵机房供暖与通风概述

1. 工艺简介

发电厂供热首站是布置换热设备，向厂区外区域供暖热用户提供集中供暖热媒的建筑；热泵机房是布置吸收式热泵机组、离心式热泵机组、循环水泵、电子水处理器、定压补水系统、板式换热器等设备，向热用户提供热水的房间。

2. 供暖

供热首站及热泵机房供暖室内设计温度见表7-10。各房间供暖系统用热媒采用厂区供暖热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。

表7-10　供热首站及热泵机房供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）	建筑物名称	室内温度（℃）
供热首站	5	热泵机房	10

3. 通风

供热首站及热泵机房通风方式见表7-11。

表7-11　供热首站及热泵机房通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
供热首站	排出余热	按换气次数$n \geq$ 3次/h计算	机械通风
热泵机房	排除余热和有害气体	按换气次数$n \geq$ 6次/h计算	机械通风

二、供热首站供暖与通风

供热首站为发电厂周边区域集中供暖系统提供热源。供热首站的设备主要有水处理设备、热交换器、各种大小阀门、各种控制仪表、控制系统计算机、大型显示屏、大小管道、水泵等。通过供热首站中的设备将汽轮机产生的蒸汽处理为区域热用户所需的热媒，并向其提供所需热量。

1. 供暖

供暖首站设置值班供暖，按5℃设计。一般考虑散热器供暖方式，供暖热媒宜采用厂内供暖加热站提供的热水。

2. 通风

（1）供热首站与主厂房合并布置时，供热首站通风纳入主厂房全面通风系统。

（2）供热首站独立布置时，一般采用机械通风方式，通风量换气次数宜不少于3次/h，非定期运行。

三、热泵机房供暖与通风

热泵机房是指布置吸收式热泵机组、离心式热泵机组、循环水泵、电子水处理器、定压补水系统、板式换热器等设备的房间，通过热泵机组向热用户提供热水。

1. 供暖

热泵机房采用散热器供暖，保证室内温度不低于10℃。冬季供暖热平衡计算时，供暖热负荷应计入连续运行的通风系统的冷风补偿加热量。

热泵机房应考虑各种热管道产生的散热量。

2. 通风

热泵机房应有良好的通风，以避免由于通风不良影响机组正常运行，机房宜采用机械通风方式，通风量按换气次数不少于6次/h计算。

第八节　各类库房供暖通风与空气调节

一、各类库房供暖与通风概述

各类库房是用于存放各种器材、仪器等的建筑；此外，还包括用于停放、保养汽车、推煤机等的建筑。

1. 供暖

各类库房供暖室内设计温度见表7-12。各房间供暖系统用热媒采用厂区供暖热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。

表7-12　各类库房供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）	建筑物名称	室内温度（℃）
汽车库	5～10	机修仓库	10
推煤机库	10	消防气体储瓶间	10
一般材料库	10	特种材料库	5
精密仪器库	20	检修间	10

2. 通风

各类库房通风方式见表7-13。

表7-13 各类库房通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
汽车库	排除有害气体	按排除有害气体/按换气次数计算	自然通风或机械通风
推煤机库	排除有害气体、通风换气	按换气次数 $n\geq$ 2次/h计算	自然通风或机械通风
一般材料库	通风换气	按换气次数 $n\geq$ 2次/h计算	自然通风或机械通风
机修仓库	通风换气	按换气次数 $n\geq$ 2次/h计算	自然通风或机械通风
消防气体储瓶间	排除有害气体、通风换气	按换气次数 $n\geq$ 6次/h计算	机械通风
特种材料库	排除有害气体	按换气次数 $n\geq$3～15次/h计算	机械通风
检修间	通风换气	按换气次数计算	自然通风或机械通风

二、汽车库供暖与通风

1. 工艺简介

汽车库由停车库、保养间、修理间、值班室、休息室、储藏间等房间组成，一般为独幢建筑或与其他建筑物合并建设，也常设于办公楼地下。它的主要功能是为停放、保养、检查、修理汽车用。大型车库还有辅助修理房间，进行零件修补、加工及制配工作。

2. 供暖

（1）严寒地区汽车库内应设集中供暖系统，寒冷地区汽车库内宜设供暖设施。

（2）汽车库一般考虑设置散热器供暖。

（3）对于设有供暖设施的车库，宜在出入口处设热空气幕，且热空气幕应优先采用集中热源。

（4）车库的供暖室内计算温度为5～10℃，保养间、修理间等室内温度为16℃，值班室室内温度为16～18℃，仓库室内温度为5℃。

（5）汽车库的供暖设计要求要符合JGJ 100—2015《车库建筑设计规范》的有关规定。

3. 通风

（1）有害物。在停车库中，有汽车进出时会产生一氧化碳和二氧化碳，而汽车用柴油发动机时，则产生败脂醛、一氧化碳、碳化氢等有害物，修理间产生汽油味。

（2）通风量。停车库机械通风量应按容许的废气量计算，且排风量按换气次数不应小于5次/h，单台机动车排风量应满足400m^3/（h·台）的要求。修理间按换气次数2次/h计算。一般排除有害物的通风量可满足排除室内余湿的要求。

（3）通风方式。当汽车库停车区域自然通风达不到稀释废气标准时，应设置机械排风系统，并应符合GBZ 1—2010的规定；采用自然通风方式，可在屋顶上设置自然通风帽或通过门窗通风；采用机械通风方式，可采用风机箱进行送排风。

（4）汽车库送风、排风系统宜独立设置，且可结合消防排烟系统设置。

（5）汽车库防排烟设计参见第十二章第二节及GB 50067—2014的有关规定。

（6）汽车库的其他通风设计要求参见JGJ 100—2015的有关规定。

三、推煤机库供暖与通风

1. 工艺简介

根据电厂运煤系统上煤数量及煤场的储存能力，推煤机库车位一般为2～4台，建筑物位置在煤场附近，库内除有停车库外，还有检修间、仓库、休息室。

2. 供暖

推煤机库供暖室内温度为10℃，仓库室内温度为5℃，检修间和休息室室内温度分别为16℃和18℃。

3. 通风

推煤机库的停车库和检修间在运行期间易产生一氧化碳、碳化氢等有害物，宜采用自然通风方式，可在屋顶上设置自然通风帽或通过门窗通风。当自然通风气流组织会出现气流死角，或供暖地区自然通风会造成冬季室内温度过低时，宜采用机械通风方式，通风量换气次数宜不小于2次/h。

四、一般材料库供暖通风与空气调节

1. 工艺简介

一般材料库由一般器材库、精密仪器库、值班室、办公室等组成。一般材料库建筑采用多层建筑，根据分类保管、方便发放等原则进行分库，一般器材库、精密仪器库的地面有防潮措施，屋面应满足保温式隔热要求，并应有防尘措施。

2. 供暖

一般材料库供暖室内温度为10℃。

3. 通风

一般材料库一般采用自然通风方式，当自然通风方式不能满足卫生要求，或存放的材料有特殊要求时，应设置机械通风装置，通风量可按换气次数不少于2次/h计算。

4. 空气调节

对一般材料库的值班室、办公室、精密仪器库等

宜设置空气调节装置；贵重器材库应根据材料特性及工程情况，确定是否设计空气调节系统。

五、特种材料库供暖与通风

1. 工艺简介

特种材料库一般根据业主要求而设置。根据材料特性分库，可分设为酸库、酸碱库及其他化学药品库、消防气体储瓶间、油漆库、油脂库、危险品库等。酸库存放的物品主要为盐酸、硫酸等，碱库主要存放的物品主要为氨水、联胺及氢氧化钠等。

2. 供暖

（1）特种材料库可以根据储存危险品的性质来确定供暖方式。热媒采用厂区供暖热网提供的热媒。供暖热负荷应计入排风造成的冷风渗透补偿加热量。

（2）若采用散热器供暖，为防止漏水或漏汽，供暖管道连接方式需为焊接。危险品库供暖时，应按工艺专业提出的散热器与库房内存储的物品的安全堆放距离要求来设计，并应符合相关国家标准。当不满足要求时，可设置隔热措施。

（3）当存放的危险品为散发腐蚀性气体或腐蚀性药品时，供暖设备、管道及附件应采取防腐措施。

（4）供暖管道与可燃物之间应保持一定的距离，并应符合下列规定：

1）当供暖管道的表面温度大于100℃时，不应小于100mm或采用不燃烧材料隔热。

2）当供暖管道的表面温度不大于100℃时，不应小于50mm或采用不燃烧材料隔热。

（5）建筑内供暖管道和设备的绝热材料应采用不燃材料。

3. 通风

（1）酸库的通风设计参见第六章第二节。

（2）碱库的通风设计参见第六章第二节。

（3）消防气体储瓶间。

1）当有可开启外窗，且自然通风条件良好时，消防气体储瓶间可采用自然通风方式。

2）无可开启外窗或无良好通风条件时，消防气体储瓶间应设置机械排风装置。

（4）其他特种材料库需根据材料性质来确定通风方式。当存放的材料为散发腐蚀性气体或腐蚀性药品时，通风设备、管道及附件应采取防腐措施。

六、检修间供暖与通风

1. 工艺简介

检修间是对火力发电厂中存在问题的设备进行解体检查和修理，或对正常运行的设备进行维护和检查，以保持、恢复或提高设备性能的场所。

2. 供暖

检修车间供暖室内温度为10℃。

3. 通风

检修车间宜采用自然通风方式。当工作地点有通风要求时，应设置局部通风系统。

第九节 修配建筑供暖通风与空气调节

一、修配建筑供暖与通风概述

修配建筑是完成修配生产任务的场所，主要包括金工、锻工、铸工、铆焊热处理车间等。

1. 供暖

修配建筑供暖室内设计温度见表7-14。各房间供暖系统用热媒采用厂区供暖热网提供的热媒，散热器采用钢制散热器。

表7-14 修配建筑供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）	建筑物名称	室内温度（℃）
金工车间	10	铆焊热处理车间	10
锻工、铸工车间	10		

2. 通风

修配建筑通风方式见表7-15。

表7-15 修配建筑通风方式

建筑物名称	通风目的	通风量计算	通风方式
金工车间	通风换气	局部排风量	自然通风/局部机械排风
锻工、铸工车间	排除余热、有害气体	局部排风量	自然通风/局部机械排风
铆焊热处理车间	排除余热、有害气体	局部排风量	自然通风/局部机械排风

二、金工车间供暖与通风

1. 工艺简介

金工车间是从事金属加工工作的车间，空间较大，噪声较大，一般由准备、机械加工、钳工装配等主要生产工段及工具、检修、磨刀等辅助工段组成。金工车间中布置有车床、插床、刨床、磨床、铣床、钻床、砂轮机等，主要功能是进行零件的机械加工、修复。

2. 供暖

（1）仅靠散热器供暖不足以满足要求时，应考虑采用暖风机和散热器联合供暖，暖风机的布置尽可能

避免设在产生油、烟和粉尘的机器、磨床附近。

（2）为防止冷空气从大门侵入而影响室内温度，对寒冷地区可考虑设置门斗，不必设热风幕。在严寒地区。对经常开启的大门宜设置热风幕。

3. 通风

由于在金工车间内进行加工机械零件、装配机械设备时，一般不产生有害物，但在干磨磨床及砂轮机处，有大量金属粉末与二氧化硅粉尘散发，所以金工车间一般不考虑全面通风，除了利用建筑门窗进行自然通风，还需要针对某些设备设置局部通风，例如砂轮机均带有防护罩，在罩子的下端有通风除尘风管接口，可在砂轮机的刀具架一侧增设一个漏斗形的吸风口，由原接管及漏斗处同时排出，如图 7-3 所示。

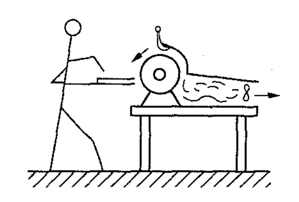


图 7-3 漏斗形吸风口示意图

三、锻工、铸工车间供暖与通风

1. 工艺简介

在锻工车间，将需要锻造的钢料，在加热炉中加热到 1000～1200℃锻造温度，然后将已加热完毕的毛坯，用各种锻造机械手工进行模锻或者自由锻造。一般有备料、加热锻造、热处理等生产工序，常用的加热设备有固定炉底室式炉、手锻炉、滚动炉底室式炉、连续加热炉、开隙式炉及立式炉。常用的锻压设备有蒸汽锤、空气锤及水压机。在铸工车间，将熔化的铁水倒入模型内，待冷却后形成铸件，一般由熔炼、铸锭（有铸锭任务时才有）、造型、制芯与浇注、砂处理、落砂清理等生产工段组成。

2. 供暖

锻工、铸工车间的设备散热量较大，工人数量相对较少，且劳动强度较高，一般穿的衣服较少，所以在车间及一些休息室、走廊均要安装散热器。

锻工、铸工车间由于工作期间有烟气、灰尘产生，因此冬季天窗经常略微打开，而门窗面积又比较大，所以冬季由于大量冷风渗透，往往室内温度较低，在计算维护结构热负荷时应充分考虑。

3. 通风

锻工、铸工车间的通风主要是排除车间内烟气、粉尘和余热，烟气中主要包含 CO、CO_2、SO_2，粉尘主要包含金属氧化物、硫化物、各类粉尘颗粒物等，设计通风方案时，需要根据气体性质，决定排风方式。夏季除了利用建筑门窗进行自然通风外，还可采用屋顶通风器顶部排风，冬季可局部利用排气罩进行局部排风，例如锻工炉排气罩，如图 7-4 所示。

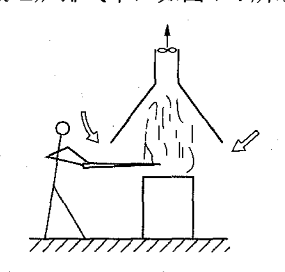


图 7-4 锻工炉排风罩示意图

四、铆焊车间、热处理车间供暖与通风

1. 工艺简介

在铆焊车间由备料、加工和装配三个部分组成，焊接方式根据产品结构的不同可采用铆焊、咬接焊接。在热处理车间，为了使金属达到技术上所要求的机械性能，将金属加热到一定的温度，然后在各种介质中冷却，一般有退火、正火、渗碳、淬火、回火、渗氮等工序。

2. 供暖

铆焊热处理车间的设备散热量较大，在生产过程中，会因强烈的辐射和对流散发大量的余热，人员一般穿的衣服较少，所以需要安装散热器，除此之外，在人员集中工作的区域或者比较固定的工作岗位附近，可设置局部辐射供暖。

3. 通风

铆焊车间通风主要是排出焊接时产生的烟气、粉尘和余热，烟气中主要包含乙炔、CO_2、NO_2，粉尘主要包含金属氧化物、硫化物、各类粉尘颗粒物等；热处理车间通风主要是排出生产过程中的烟气和余热，烟气中主要包含油烟、金属盐蒸汽（有氰化物、氧化铅及铅、氮、氧化氮及硝盐蒸汽）。设计通风方案时，需要根据气体性质，决定排风方式。夏季除了利用建筑门窗进行自然通风外，还可利用厂房天窗进行排风，为了避免气流倒灌，宜采用避风天窗，且设置在作业区的上部。除此之外，还宜在焊接操作处设置抽气罩进行机械排风，如图 7-5 所示。

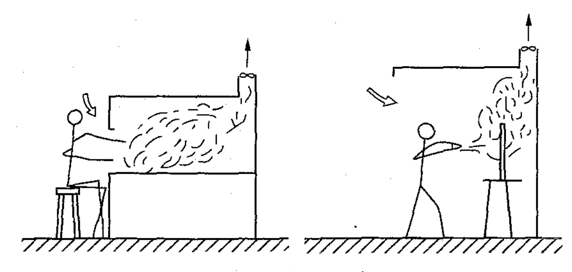


图 7-5 抽气罩示意图

排气量按下述方法确定：

（1）采用排气罩。

1）上抽式均流侧吸罩的排气量计算式为

$$L=3600Av \quad (7\text{-}9)$$

式中　L——上抽式均流侧吸罩的排气量，m^3/h；

A——排气罩有效面积，m^2；

v——对应有效面积的排风速度，取 3m/s。

2）上抽式简易排气罩的排气量可按式（7-9）计算，排风速度一般取 v=0.8m/s。

（2）采用机械排风方式。焊工和车间全面排风量见表 7-16。

表 7-16　焊工和车间全面排风量

焊条直径（mm）	每台电焊机需要的排风量［m^3/（h·台）］
4	1700
5	2500
6	6000
10	7600

1）当采用全面机械排风方式时，排风量按表 7-16 选择。选风机时，风量再附加 15%。

2）对乙炔气罩或气割进行排风时，排风量按每消耗 $1m^3/h$ 乙炔排气 $5000m^3/h$ 计算。

3）热处理间的加热炉一般以燃气和电炉为主，电厂的热处理车间多以电极盐炉为主，在盐浴炉、盐浴槽、喷砂机、淬火油槽等设备上，应设置局部排风系统，具体的排风量根据所选设备要求的排风量进行设计。

第十节　厂　前　建　筑

一、厂前建筑供暖通风与空气调节概述

火力发电厂厂前建筑通常包括办公建筑、试验楼及其他辅助建筑。办公建筑是指单位行政管理人员、业务和技术人员等的集中办公的建筑，试验楼是集试验、检修等为一体的用房，它们都属综合性建筑。其他辅助建筑包括宿舍楼、值班公寓及一些生活福利建筑，如食堂等。

1. 供暖

厂前建筑供暖室内设计温度见表 7-17。根据 GB 50019—2015 的定义，厂前区建筑属于工业建筑，当采用散热器供暖时，供暖热媒采用厂区供暖热网提供的热水。当采用地面辐射供暖或冬季空气调节等其他供暖形式时，宜根据不同的供暖形式，采用不同的供、回水温度。

表 7-17　厂前建筑供暖室内设计温度

建筑物名称	室内温度（℃）	建筑物名称	室内温度（℃）
办公室、休息室、食堂、客房	≥18	浴室、更衣室	25
试验楼	18	厨房、库房	16
盥洗间、厕所	14	烘烤、菜储存	5

2. 通风

厂前建筑通风方式见表 7-18。

表 7-18　厂前建筑通风方式

建筑物名称		通风目的	通风量计算	通风方式
生产行政办公楼		排除余热、余湿	—	自然通风
试验楼		排除余热、余湿、有害气体	按排除余热/按换气次数计算	自然通风或机械通风
宿舍楼、值班公寓	客房	通风换气	—	自然通风
	厕所	通风换气	按换气次数 n=5～10 次/h 计算	机械通风
	浴室	通风换气	按换气次数 n≥10 次/h 计算	机械通风
食堂	餐厅、厨房	通风换气	按换气次数 n≥10 次/h 计算	机械通风
	休息室、办公室	通风换气	—	自然通风
	干货库房	通风换气	—	自然通风
	烘烤、菜储存	通风换气、排除余湿	—	自然通风

3. 空气调节

厂前建筑空气调节冷指标见表 7-19，实际应用时，空气调节冷指标宜根据厂址所在地的气象条件进行选取，炎热地区采用较高值，寒冷地区采用较低值。

表 7-19　厂前建筑空气调节冷指标

建筑类型	空气调节冷指标（W/m^2）	建筑类型	空气调节冷指标（W/m^2）
生产行政办公楼	100～150	值班室	100～160
会议室	150～200	控制室	150～250

二、生产行政办公楼供暖通风与空气调节

生产行政办公楼是集生产管理、计划经营、行政管理等人员办公的综合性建筑。

1. 供暖

（1）供暖设计应符合 GB 50019—2015 的有关规定。

（2）供暖热媒宜采用热水。当采用散热器供暖时，热媒可采用厂区供暖热网提供的热水，当厂区供暖热水温度较高时，宜设置混水或换热装置，使热水参数达到供暖系统所需的供水温度；当采用风机盘管供暖时，热媒宜采用 60/50℃的热水；当采用低温地面辐射供暖系统时，热水供水温度不应超过 60℃，供回水温差不宜大于 10℃，且不宜小于 5℃。主要房间的室内温度应不低于 18℃。

（3）对散热器供暖系统，散热器选型应考虑房间的美观和舒适性，宜明装。

（4）供暖系统水平干管宜采用上供下回式，有条件时供、回水管道宜采用同程式。

（5）供暖系统垂直立管可采用单管或双管制，小于四层的建筑物宜采用双管制、大于四层的建筑应采用单管制，以减少垂直失调现象。

（6）易冻结的外门间门斗不应设置散热器和阀门，不宜穿越供暖管道。

（7）严寒地区无门斗的外门宜设置热空气幕。

（8）严寒地区楼道、楼梯间等应设置散热器，管道有冻结危险的场所应单独设置供暖立管。

（9）安装在吊顶内的供暖管道应保温。

（10）供暖管道宜按南、北向分区布置，宜分别设置室温调控装置。

2. 通风

（1）通风设计应符合 GB 50019—2015 的相关规定。

（2）办公室一般采用自然通风方式。

（3）厕所、盥洗间采用排风扇通风方式。

（4）防排烟部分内容参见第十二章第二节。

3. 空气调节

火力发电厂的生产行政办公楼的空气调节系统可根据各火力发电厂的要求进行选择，一般采用风机盘管加新风系统，或变频多联机加新风系统，也可以设置分体式空调等方式。通信机房等工艺房间设备运行时间与办公室工作时间不同，可以考虑另外增设空气调节装置，以满足房间的空气调节需求。设计要求参见第四章第三节。其他空气调节设计按工业建筑要求设计。

三、试验楼供暖通风与空气调节

试验楼是集试验、检修等为一体的综合性建筑。主要包含金属试验室、仪表与控制试验室、电气试验室、环境监测站、计算机维护室、仪表与控制维护室、标准设备室等。

1. 供暖

（1）X 光透视室及γ射线室的供暖管道穿过防护墙时，应采取屏蔽防护措施。一般采用铅板防护，以使射线不致贯穿逸出。因最简单的防护方法是使管道穿墙后立即转弯，然后用铅板围护。

（2）其他设计要求参见本节二。

2. 通风

（1）金属试验室。

1）金属试验室的各房间可根据功能要求设置通风装置。

2）X 射线对人体有危害，在使用 X 光机时，还会产生臭氧和氧化氮等有害气体。所以 X 光透视室应设全面换气的机械通风装置。虽然 γ 射线较 X 射线对人体危害更大，但 γ 射线室内多为存放物品的场所，仅偶尔在室内进行少量的探伤工作，所以 γ 射线室的通风标准仍同于 X 射线室，两者均应设置换气次数不少于 5 次/h 的全面换气的机械通风装置。由于臭氧和氧化氮比空气重，X 光透视室排风系统的室内吸风口和室外排风口的下缘应设在距地面不大于 0.3m 处，室外排风口朝向地面。

3）X 光透视室及 γ 射线室的通风管道穿过防护墙时，应采取屏蔽防护措施。屏蔽防护措施同供暖管道。

4）电厂的金相试验室、X 光透视室及 γ 射线室和光谱试验室均有暗室。由于暗室体积小而密闭，相对湿度较大，冬季阴冷，夏季潮湿闷热，室内空气污染严重，所以暗室宜设全面换气的机械通风装置，通风量按换气次数不少于 15 次/h 计算。为防止漏光，自然进风口或自然排风口应采用遮光百叶窗，百叶窗内部应刷黑皱纹漆，通过遮光百叶窗的风速应小于 2.0m/s。

5）金相制样室应设置全面换气的机械通风系统，并应在可能散发有害气体、蒸发或粉尘的部位设置通风柜，工作口风速不应小于 0.6m/s，排风量应根据通风柜工作口最大面积计算确定。

（2）仪表与控制试验室。

1）恒温源间内设置检定炉，恒温油槽的房间应设置吸风罩作为排烟和降温的设施。

2）现场维修间宜采用机械通风方式，通风量按换气次数不少于 6 次/h 计算。

（3）电气试验室。

1）电气试验室宜采用机械通风方式，通风量按换气次数不少于 6 次/h 计算，进、排风口上应加设金属网。

2）测量仪表实验室宜采用机械通风方式，通风量按换气次数不少于 6 次/h 计算。当周围环境空气较为恶劣时，宜采用正压通风方式，进风应过滤。

3. 空气调节

（1）金属试验室。金相显微室应设置空气调节装置，宜设置独立的空气调节装置。

（2）仪表与控制试验室。

1）仪表与控制试验室应设置空气调节装置，宜设置独立的空气调节装置。

2）标准仪表间其温度和相对湿度应符合仪表检定的要求。

（3）电气试验室。电气试验室应设置空气调节装置，其温度和相对湿度应符合电气试验室的相关要求。

（4）环境监测站。环境监测站应设置空气调节装置，其温度和相对湿度应符合环境监测站的相关要求。

（5）计算机维护室、仪表与控制维护室和标准设备室等房间宜设置空气调节装置。

四、宿舍楼、值班公寓供暖与通风

宿舍楼、值班公寓是职工休息栖身之地，一般设有客房、厕所及浴室。

1. 供暖

供暖系统所需的热水参数同生产行政办公楼。

2. 通风

（1）厕所可用排气扇进风通风。

（2）浴室可用轴流风机或换气扇进行通风换气。

五、生活福利建筑供暖通风与空气调节

生活福利建筑一般设有食堂、活动中心等。食堂主要服务于电厂职工，一般为独立的一个建筑物，分为餐厅、厨房、存储间、办公室等。

1. 供暖

供暖系统所需的热水参数同生产行政办公楼。

2. 通风

烘烤部分的厨房配备罩式排油烟机，厨房（加工、烘烤）可用轴流排风机进行换气，排除房间内的余湿及异味。

3. 空气调节

食堂空气调节系统可采用变频多联机系统，根据工程要求和具体情况也可设置分体式空气调节机。

第八章

供暖加热站

第一节　设　计　原　则

厂区供暖加热站是为火力发电厂建筑物的供暖系统、新风加热系统及空气调节系统提供热源的设备站房。加热站通过供热管网向厂区各建筑物输送热媒，以满足各建筑物供暖、通风和空气调节热负荷的需要。采用加热站的集中供暖方式具有减少设备投资、提高能源利用率、维护管理方便等优点。

厂区供暖加热站的供热范围仅限于电厂厂区内，它区别于集中供热的热网首站和其他集中供热加热站。基于厂区各供暖建筑的布置位置，加热站供热半径一般不超过 1.5km，厂内供热负荷一般不超过 25MW。

供暖加热站设计原则为：

（1）加热站设计应符合国家及行业有关标准、规范的规定。

（2）累年日平均温度稳定低于或等于 5℃的日数大于或等于 90 天的地区为集中供暖区，应设置供暖设施，并宜采用集中供暖方式。

（3）位于集中供暖地区的新建电厂或上一期工程没有热源预留的扩建电厂，应设置厂区供暖加热站。

（4）加热站的位置应靠近供暖负荷中心，一般布置在主厂房内，并与厂区供热管线规划统筹考虑，以避免出现厂房内管径大、管程长、出线困难的情况。

（5）加热站的规模及系统参数应根据厂区建筑热负荷、用热参数、供热距离等因素来确定。必要时厂前区建筑或者需厂内提供热源的生活区、煤矿区等可单独设置加热站。

（6）条件具备时，加热站可与集中制冷站合并布置。

（7）加热站自动监控系统的自动化程度应结合当地的运行管理水平综合确定。

第二节　热负荷与热源

一、加热站设计热负荷

加热站设计热负荷主要包括供暖热负荷、新风热负荷及空气调节热负荷，一般热水供应热负荷不计入加热站设计热负荷中。加热站的设计热负荷是选择加热站设备容量的基础数据。

（一）加热站设计热负荷确定原则

在估算供暖通风热负荷或核算热负荷时，应充分考虑以下事项：

（1）工程的最终容量以及最终供暖负荷。

（2）工程是否分期建设以及与下一期的间隔时间。

（3）本期加热站是按照最终容量一次建成还是按照本期现有容量分期建成。

（4）电厂扩建、自建各类生活福利建筑所需要的热负荷。

（5）是否在加热站内预留加热器和热网循环水泵的安装位置。

（6）应选择几种系统方案进行经济技术比较后确定。

（二）加热站设计热负荷估算

加热站设计热负荷估算一般采用指标法进行估算，该方法适用于可行性研究阶段和初步设计阶段。当工程进入施工图阶段时，还应详细计算各建筑物的供暖、新风及空气调节热负荷，以核算初步设计阶段规划的加热站设备容量，并确定最终参数。

式（8-1）～式（8-5）为供暖热负荷估算公式。

1．供暖热负荷估算及估算指标

主厂房供暖热负荷计算式为

$$Q_1=q_1(t_n-t_w)\times10^{-3} \tag{8-1}$$

式中　Q_1——主厂房供暖热负荷，kW；

q_1——主厂房供暖热指标，可按照表 2-2 的规定取值，W/℃；

t_n——室内供暖计算温度，℃；

t_w——室外供暖计算温度，℃。

运煤栈桥、天桥供暖热负荷计算式为

$$Q_2=q_2L(t_n-t_w)\times10^{-3} \quad (8\text{-}2)$$

式中 Q_2——运煤栈桥、天桥暖热负荷，kW；

q_2——运煤栈桥、天桥长度供暖热指标，可按照表 8-1 的规定取值，W/（m·℃）；

L——运煤栈桥、天桥的长度，m。

翻车机室供暖热负荷计算式为

$$Q_3=q_3(t_n-t_w)\times10^{-3} \quad (8\text{-}3)$$

式中 Q_3——翻车机室供暖热负荷，kW；

q_3——翻车机室供暖热指标，可按照表 8-2 的规定取值，W/℃。

主厂房、运煤栈桥和天桥、翻车机室之外的辅助及附属建筑物供暖热负荷计算式为

$$Q_4=q_4A(t_n-t_w)\times10^{-3} \quad (8\text{-}4)$$

式中 Q_4——除主厂房、运煤栈桥和天桥、翻车机室之外的辅助及附属建筑物供暖热负荷，kW；

q_4——辅助及附属建筑物供暖面积热指标，可按照表 8-3 的规定取值，W/（m^2·℃）；

A——供暖建筑物的建筑面积，m^2。

供暖热指标 q_1、q_2、q_3 和 q_4 的取值分别见表 2-2、表 8-1～表 8-3。

表 8-1 运煤栈桥、天桥长度供暖热指标 q_2

皮带宽度（mm）	长度供暖热指标［W/（m·℃）］			
	单路皮带		双路皮带	
	地上	地下	地上	地下
500	33.7	6.7	46.5	9.0
650	34.9	7.0	48.8	9.7
800	37.2	7.3	51.2	10.0
1000	38.3	7.6	54.7	10.5
1200	40.7	7.9	58.2	11.2
1400	41.9	8.2	60.5	12.0
1600	43.2	8.7	63.2	13.0
天桥 q_2=23～30W/（m·℃）				

注 1．天桥室内供暖计算温度 t_n=10℃，运煤栈桥地上部分 t_n=10℃，地下部分 t_n=16℃。

2．运煤栈桥地下部分为钢筋混凝土，无保温。运煤栈桥地上部分墙体和屋面为金属保温板，地面为混凝土板贴保温板。

3．不考虑通风热损失。

表 8-2 翻车机室供暖热指标 q_3

建筑物名称		室内温度（℃）	供暖热指标（W/℃）		
			A	B	C
翻车机厂房（单台）	地上	10	5650	5930	6040
	地下	16	2896	3040	3100
翻车机厂房（双台）	地上	10	7410	7780	7930
	地下	16	4490	4710	4800
空车绞房		10	1330	1400	1420
重车绞房		10	3160	3320	3380
地下转运站		16	665	700	715

注 A、B、C 三挡分别对应的室外供暖计算温度：A，低于−14℃；B，−14～−5℃；C，高于−5℃。

表 8-3 辅助及附属建筑物供暖面积热指标 q_4

建筑物名称		室内温度（℃）	供暖面积热指标［W/（m^2·℃）］		
			A	B	C
运煤建筑	碎煤机室	10	6.10	6.34	6.5
	地上转运站	10	7.6	7.9	8.1
	半地下转运站	10	5.2	5.4	5.5
	地下转运站	16	2.3	2.4	2.44
	卸煤沟（地上）	10	7.0	7.3	7.4
	卸煤沟（地下）	16	2.8	2.9	3.0
	推煤机库	10	8.1	8.4	8.6
	机车库	10	8.7	9.0	9.2
	运煤综合楼	18	4.65	4.8	4.9
	煤灰沉淀池	10	21.0	21.8	22.3
	轨道衡	18	6.4	6.7	6.8
	运煤浴池	25	5.8	6.0	6.2
电气建筑	集中控制楼、网络控制楼	18	2.9	3.0	3.1
	通信楼	18	2.3	2.4	2.5
	变压器检修间	5	15.2	15.8	16.0
	电动机检修间	16	7.0	7.3	7.4
	电气检修楼	16	2.7	2.8	2.86
	除灰除尘配电装置室	10	7.0	7.3	7.5
化学水建筑	水处理室	5～10	5.82	6.00	6.10
	酸碱库	10～16	6.40	6.60	6.70
	氢、氧站，氢罐间	5～10	5.82	6.00	6.10
	油处理室	16	6.70	6.90	7.00
	卸酸碱泵房	16	6.40	6.60	6.70
	中和池、澄清池	10	8.10	8.34	8.50
	加氯间	16	5.80	6.00	6.10
	露天油库	10	12.8	13.2	13.4

续表

建筑物名称		室内温度（℃）	供暖面积热指标 [W/（m²·℃）]		
			A	B	C
水工建筑	江岸、升压、循环水泵房	5	9.9	10.1	10.5
	消防、污水泵房	5	8.2	8.4	8.7
	闸门、切换室	5	12.2	12.6	12.9
	深井泵房	12	6.4	6.6	6.7
	灰水回收泵房	5	9.3	9.6	9.9
	厂外泵房区附属建筑	16	5.8	6.0	6.2
	含油污水处理室	16	7.6	6.8	8.0
生产辅助建筑	电除尘器室	10	11.0	11.4	11.6
	水膜文丘里除尘器室	10	12.8	13.2	13.4
	灰渣泵房	5	7.0	7.2	7.4
	引风机室	16	9.3	9.6	9.8
	检修车间	16	8.7	8.9	9.2
	热处理车间	16	9.3	9.6	9.8
	风扇磨检修间、空气压缩机室	10	8.1	8.3	8.5
	汽车库	10	7.6	7.8	7.9
	材料库（单层暖库）	10	3.5	3.6	3.7
	材料库（双层暖库）	10	1.9	3.0	3.1
	药品库	10	4.7	4.8	4.9
	燃油泵房	16	4.7	4.8	4.9
	脱硫工艺楼	10	11.0	11.4	11.6
	尿素车间	5	9.3	9.6	9.8
	试验楼、综合楼	18	2.3	2.4	2.5
	生产办公楼、培训楼	18	2.1	2.2	2.4
	行政办公楼	18	2.1	2.2	2.4
	警卫传达室	18	6.4	6.6	6.7
	启动锅炉房（2×20t/h）	5	5.5	5.7	5.8
生活附属建筑	单层住宅	18	3.5	3.7	3.9
	多层住宅、独身楼	18	1.8	1.9	2.0
	招待所	18	2.3	2.4	2.5
	医院、托儿所	20	2.3	2.4	2.5
	浴室	25	5.4	5.6	5.8
	食堂	16	3.5	3.8	3.9

注　A、B、C 三挡分别对应的室外供暖计算温度：A，低于−14℃；B，−14～−5℃；C，高于−5℃。

表 2-2、表 8-1～表 8-3 中供暖热指标的统计经验数据已沿用多年，随着建筑节能要求的逐步推进，电厂建筑围护结构的保温性能也在逐步提高，理论上讲供暖热指标也应相应折减，但折减后的数据需要做大量调研工作才能给出具体数值，现阶段尚无系统的统计数据。设计者在确定热负荷指标时可根据工程具体情况适当调整，同时也应兼顾由于施工质量欠佳引起门、窗、墙缝隙过大，从而导致供暖负荷严重不足的情况。

2. 冬季通风及空气调节新风加热热负荷

冬季通风及空气调节新风加热热负荷计算式为

$$Q_{tk}=R_1Q_n \tag{8-5}$$

式中　Q_{tk}——冬季通风及空气调节新风加热热负荷，kW。

R_1——计算建筑物冬季通风及空气调节新风加热热负荷的系数，可取 0.3～0.5；对于通风或空气调节新风负荷较大的场所，可根据系统运行特点适当增大系数；对于安装热风幕的翻车机室或卸煤沟，可取 1.5～2.0。

Q_n——建筑物通风及空气调节供暖热负荷，kW。

二、供暖热媒参数

火力发电厂供暖热水温度一般采用以下几种：

（1）110/70℃，用于严寒地区电厂的供暖系统。

（2）110/70、95/70℃，用于寒冷地区电厂的供暖系统。

（3）95/70、85/60℃，用于寒冷地区或夏热冬冷地区的供暖系统，或厂前区生活附属建筑的供暖系统。

（4）65/50℃，用于全年运行的风机盘管空气调节系统。

（5）50/40℃，用于地板辐射供暖系统。

以上供回水温度是综合了各地区的气象条件及各供暖系统的要求得出的比较适宜的供热参数，并不是唯一或不可改变，设计者可以根据工程实际情况进行适当调整。也有严寒地区火力发电厂采用 130/70℃热水作为全厂供暖热媒，130℃热水的汽化压力为 0.176MPa，比 110℃热水的汽化压力 0.046MPa 高出 0.13MPa，因此对于同样规模、同样地形高差以及同样热用户条件的两个热网系统来说，前者的静水压线要比后者高出 0.13MPa，即建筑底层供暖设备的承压及供暖系统的运行压力均相应提高 0.13MPa，这对热网运行的安全性和经济性是有一定影响的。因此，当选择严寒地区的供暖热媒温度时，既要考虑热媒温度与气候的适应性，又要兼顾热网系统运行的经济性与安全性。

三、供暖加热站加热热源

（一）供暖汽水加热站热源

1. 汽轮机抽汽

加热站采用汽轮机抽汽作为加热汽源，抽汽均为

过热蒸汽。而凝汽式汽轮机的抽汽大多是不可调整抽汽，各段抽汽的压力、温度及流量都是不同的，100～1000MW 汽轮机额定工况下的抽汽参数见表 8-4。

表 8-4 100～1000MW 汽轮机额定工况下的抽汽参数

抽汽段	压力（MPa）	温度（℃）	流量（t/h）	抽汽段	压力（MPa）	温度（℃）	流量（t/h）
100MW				200MW			
1	4.5	395	21.87	1	3.5	360	32.48
2	2.6	329	21.36	2	3.25	305	50.56
3	1.25	280	13.36	4	0.766	401	23.68
4	0.68	380	4.76	6	0.225	252	13.24
5	0.29	280	8.24	7	0.136	215	23.60
6	0.18	231	13.35				
7	0.05	110	16.11				
300MW				350MW			
1	5.8	386	69.78	1	5.91	357.6	72.86
2	3.55	319.3	78.37	2	3.66	299.5	71.07
3	1.59	431	37.82	3	1.89	476.4	37.61
4	0.73	322	75	4	0.938	378.5	28.04
5	0.26	207	34.25	5	0.497	296.3	40.98
6	0.11	121.8	20.36	6	0.197	197.8	39.39
7	0.059	87.2	29.43	7	0.065	87.9	29.26
8	0.021	62.4	26.64	8	0.023	63.6	31.98
660MW				1000MW			
1	2.495	514.9	95.55	1	2.199	484.4	128.55
2	7.227	382.5	104.77	2	7.806	394.3	162.75
3	5.131	336.8	152.05	3	5.599	348.8	301.83
4	1.141	401.0	70.82	4	1.102	375.6	83.53
5	0.531	299.5	62.63	5	0.553	295.0	58.84
6	0.2381	210.6	83.69	6	0.351	246.0	58.30
7	0.0595	96.2	61.88	7	0.2092	191.2	113.70
8	0.017	0.9482	39.06	8	0.0605	0.9952	80.81
				9	0.0214	0.9516	75.50

加热站加热汽源的确定及参数选择需满足加热站的设计需求。加热蒸汽的压力应在汽-水换热器设备允许的设计压力范围之内，加热蒸汽的温度应靠近被加热水的供水温度，以提高汽-水换热器的换热效率。当汽机专业提供的供汽参数满足以上条件时，可直接用来作为加热汽源，充分利用该段蒸汽的原始参数。当供汽参数与供暖加热站所需的参数相差悬殊时，为保护供暖加热站设备，应设置蒸汽减温减压装置。减温减压装置是一种能将高温高压蒸汽参数降低到设定参数的装置，可以根据需要单独减温或减压，也可以既减温又减压。

2. 备用汽源

表 8-4 的抽汽参数是汽轮机在额定功率下的可调节抽汽的参数，可作为换热器的加热汽源，但在工程实际中，凝汽式汽轮机经常要变负荷运行，而汽轮机负荷的变化将导致各段抽汽参数的变化。表 8-5 所示为 660MW 汽轮机 50%负荷工况下的抽汽参数，从表 8-4 和表 8-5 的对比中可以看出，对于 5 段抽汽，压力由 0.531MPa 变为 0.2768MPa，流量由 62.63t/h 变为 25.53t/h。

表 8-5 660MW 汽轮机 50%负荷工况下的抽汽参数

抽汽段	压力（MPa）	温度（℃）	流量（t/h）
1	1.249	519.1	39.65
2	3.549	385.2	33.83
3	2.522	341.4	52.55
4	0.606	413.5	29.37
5	0.2768	309.4	25.53
6	0.1264	221.9	34.87
7	0.0334	106.2	26.19
8	0.0102	0.9679	8.74

为了保证换热器所需汽源的连续可靠，除了以汽轮机抽汽作为主供汽汽源之外，还需要从上级抽汽接一路汽源，经减温减压后作为备用气源。正常运行时，换热器用主汽源，当主汽源参数不能满足要求时，再启用备用汽源。

一般来讲，采用辅汽联箱作为备用气源是最为理想的，辅汽联箱的压力稳定，流量受汽轮机负荷变化的影响较小。当新建电厂在施工期间要对厂房封闭供暖，以保证厂房内冬季施工的环境温度要求时，加热站的汽源可由启动锅炉或其他临时热源承担。

（二）供暖水水加热站热源

当厂区内有温度适宜的高温水，水源连续且水质满足相关要求时，可设置供暖水水加热站，这在自备电厂或者工业园区比较常见，可有效利用临近工业区的余热。

当厂前区建筑设置独立的供暖水水加热站时，由于公用建筑供暖热媒温度较低，可采用厂区供暖管网输送的高温水作为水水加热系统的热源进行二次换热。

第三节 供暖热水加热系统

一、常用供暖热水加热系统

火力发电厂常用的供暖热水加热系统主要有汽水加热系统、水水加热系统和混水加热系统三种。

1. 汽水加热系统

汽水加热系统是以蒸汽为热源，通过汽水换热系统制备出适宜温度的热水，经厂区供热管网输送至供暖建筑物内。集中供暖地区的厂区供暖加热站常采用汽水加热站。

常见的厂区汽水加热系统原理如图 8-1 所示。

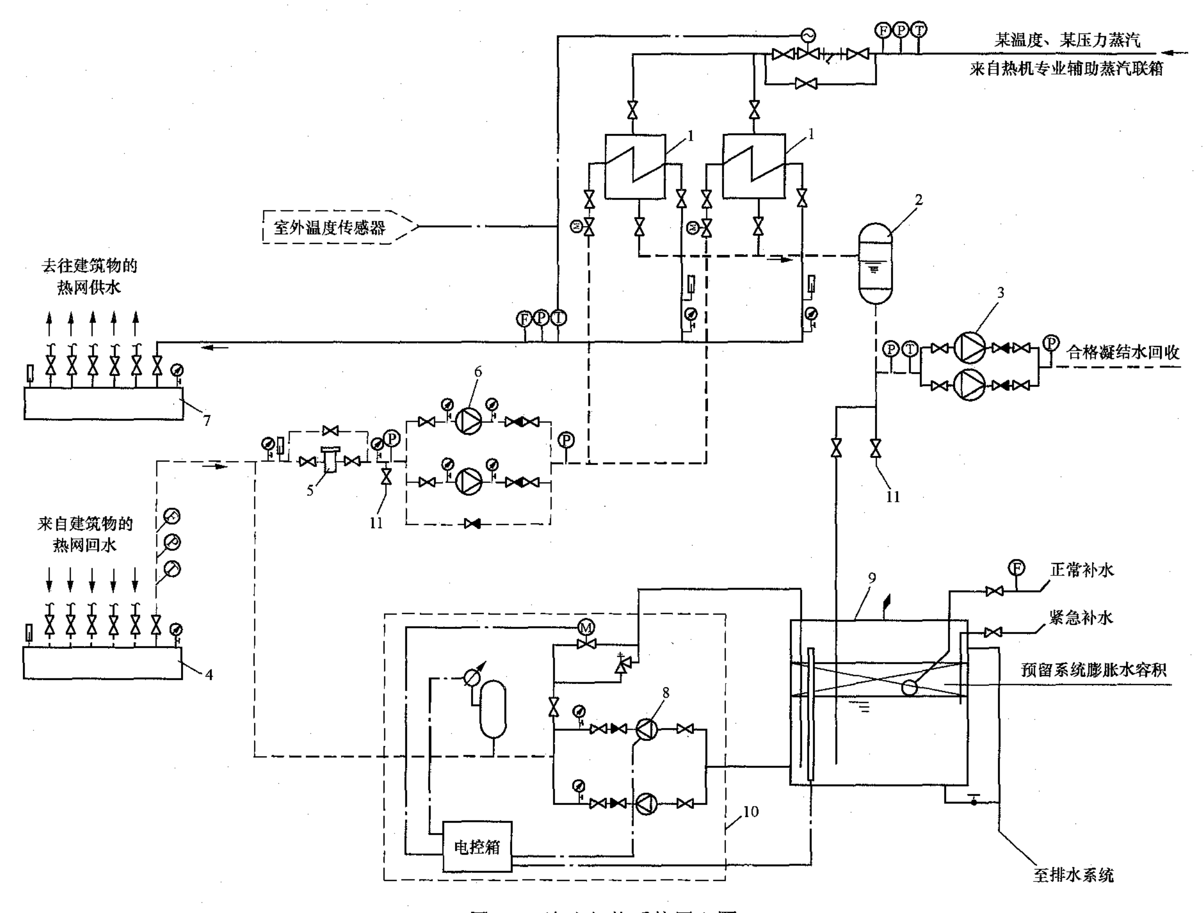


图 8-1　汽水加热系统原理图

1—换热器；2—疏水罐；3—疏水泵；4—集水器；5—除污器；6—循环水泵；7—分水器；8—补水泵；9—水箱；10—定压补水装置；11—取样口

2. 水水加热系统

水水加热系统是以高温水为热源通过水水换热制备温度较低的热水，经供热管网输送至相关建筑物内。水水加热系统可用于厂内有高温热水热源的加热系统，也可用于住宅、食堂、办公楼等厂前区建筑的低温水供暖或风机盘管空气调节系统。厂区供暖水水加热系统原理如图 8-2 所示。

3. 混水加热系统

混水加热系统是根据供热系统的温度需求，将热水系统的供回水按一定比例混合，从而满足热用户对供热量和供热温度的需求。混水加热系统可用于住宅、食堂、办公楼等厂前区建筑的散热器供暖或地板辐射供暖。

以上加热系统的综合运用，可使热水加热系统输出几种不同的热水供热参数，以满足厂区内不同的供热需求。

二、供暖热水加热系统的补水

1. 热网补水量

厂区热网系统补水装置的流量不宜小于循环流量的 2%。补给水泵应按 2×100%设置，2 台同时运行时应满足热网循环水量 4%的事故补水量。备用补水泵应能自动投入运行。

2. 热网补水水质

热网补水是指热网初次运行向系统中充入的水和运行期间向系统中补入的水。对这部分水质加以控制可以延缓换热器和管道发生腐蚀、沉积水垢，延长整个加热系统的使用寿命。有些热网由于失水率较高或为了缩短供暖系统充水时间，将工业水、江河水直接补入供暖系统，这对热用户、热网和换热器极为不利，会导致换热器及散热设备和管道结垢、

腐蚀，甚至堵塞，严重影响供热效果，甚至降低热网的使用寿命。

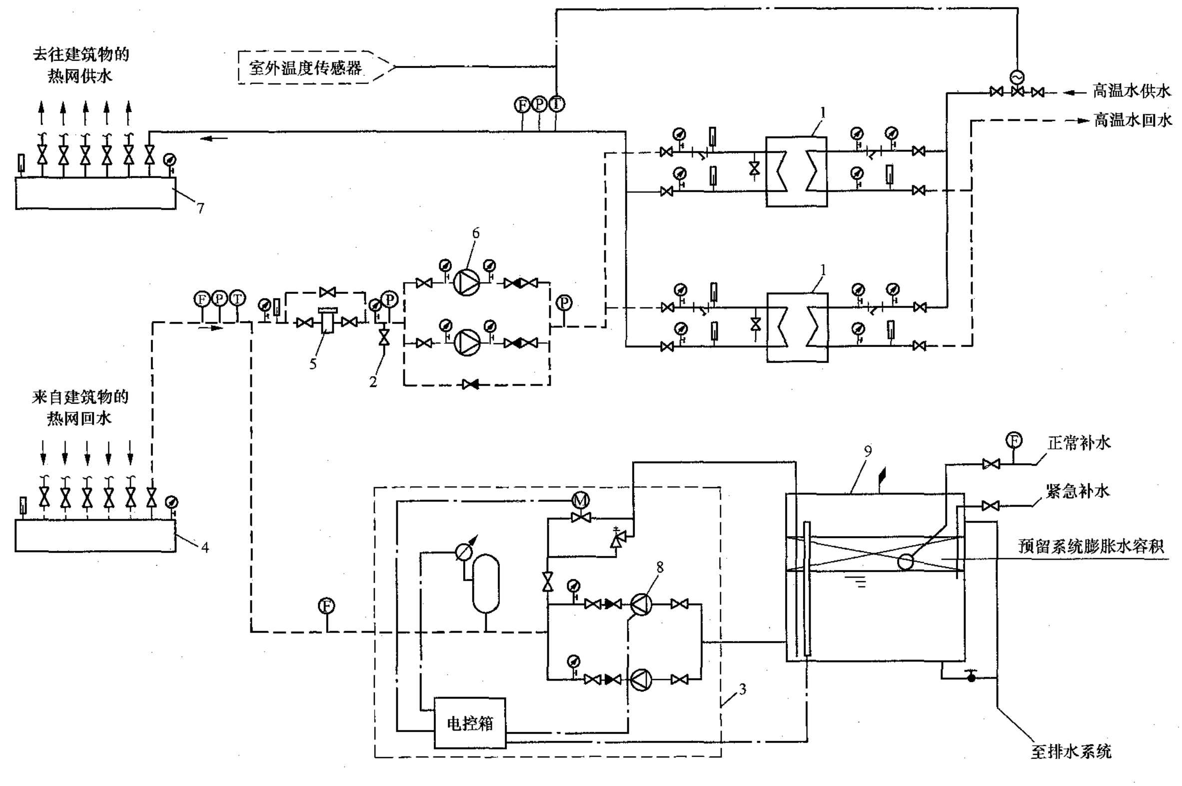


图 8-2 水水加热系统原理图

1—换热器；2—取样口；3—定压补水装置；4—集水器；5—除污器；6—循环水泵；7—分水器；8—补水泵；9—水箱

厂区供暖热网系统的补给水水质应符合下列要求：

（1）浊度不应大于 5.0FTU（FTU——浊度的单位，是一项重要的水质指标，用于描述水的混浊程度）。

（2）硬度不应大于 0.60mmol/L。

（3）溶解氧不应大于 0.10mg/L。

（4）油不应大于 2.0mg/L。

（5）pH 值（25℃）为 7.0～11.0。当 pH 值（25℃）大于 9.2 时，热网系统不应采用铜质设备与材料。

当厂区供热介质中氯离子含量高于 25mg/L 时，供热系统不应采用不锈钢部件或设备。

为延长供暖系统的整体使用寿命，可根据需要对供暖系统补水水质和循环水水质定期监测，如图 8-1、图 8-2 中在循环泵旁通管处设水质监测取样点，或对循环水水质 pH 和电导率进行在线实时监测。

3. 补水水源

厂区供暖热网系统补给水可以采用软化水，事故时或紧急情况下也可采用生活水和工业水作为补水水源。一般可以作为主厂房区域供暖热水加热系统补水水源的有闭式水、换热器凝结水，由于厂前区附近无软化水源，其供暖热水加热系统可采用经软化处理后的生活水等。

三、供暖热水加热系统的定压

维持热水网系统正常运行除了要保证热用户有足够的资用压头，保证散热设备不被压坏，还要通过定压方式来保证热水网系统充满水不倒空、不汽化。一旦出现倒空，热水中溶解的各种气体会溢出，形成空气隔层，会破坏系统的正常循环，影响供热效果，同时还会加快管道的腐蚀。

厂区热水供暖系统属于闭式系统，无论热网循环泵在运行或停止期间，系统内都应始终充满水，以防止系统内部的腐蚀。因此，需要在闭式系统中设置定压设备以保持整个系统完全充满水。

当供暖系统水温升高时，水体积膨胀，由于水的压缩比较小，所以系统内的压力逐渐升高。当温度降低时，水体积变小，系统内的压力又会逐渐降低。供暖期开始前首先对系统进行加热。水温从常温升至供热中期时的设计供水温度，这段温升区间内水的体积膨胀量较大，要通过水箱或气压罐完全分担会使设备体积庞大。由于每个供暖季从充水温度到最低供水温

度的膨胀过程只发生一次，因此这部分膨胀水量一般通过安全阀或电磁阀排放至补水箱，溢流后的水可由排水系统回收。而最低供水温度到设计温度之间温度变化引起的膨胀量则由水箱内预留的膨胀水容积和气压罐来单独或共同承担。

热水网的定压方式很多，常见的主要方式有开式膨胀水箱定压、补水泵定压等。

定压点即热水网系统压力恒定不变的点或一个给定的压力波动区间，也就是定压装置与热网的连接点。定压点的具体位置一般设在热网循环水泵吸入侧除污器的前端，即补水经过除污器后再补入系统，也可在集水器上。定压点处的压力值应根据热水网的水压图要求确定，一般情况可按式（8-6）求出，即

$$p=p_j+p_s+20 \tag{8-6}$$

式中 p——定压点压力，kPa；

p_j——最高用户充水高度对应的静水压力，kPa；

p_s——与热网供水温度对应的汽化压力，kPa，见表 8-6；

20——安全裕量，kPa。

表 8-6　与热网供水温度对应的汽化压力

水温 t（℃）	95	110	120	130	140	150
汽化压力 p_s（kPa）	0	46	103	176	269	386

供热系统的顶部是最容易出现汽化和倒空的位置。当系统的供回水温度为 95/70℃时，只要满足不倒空的水压条件也就同时满足了不汽化的水压条件。对于供水温度高于 100℃时的供热系统，考虑汽化压力尤为重要。

（一）开式膨胀水箱定压

开式膨胀水箱不但具有结构简单、压力稳定、造价及运行费用较低的优点，而且还能兼顾补水、膨胀和排气的作用。但是由于开式膨胀水箱中的水暴露于空气中，氧气很容易被水吸收，易造成对水箱及管道的腐蚀。开式膨胀水箱定压方式应满足以下条件：

（1）开式膨胀水箱的安装高度必须位于整个供热系统中最高点。

（2）实际工程中开式膨胀水箱不可能做的较大，容积有限，适用于中小型规模的热水网。

（3）一般开式膨胀水箱内的水温不应超过 95℃。

若开式膨胀水箱安装在非供暖房间时，应考虑保温，防止水箱内水冻结。高位布置的开式膨胀水箱应设检查爬梯。

开式膨胀水箱的设计选型如下。

1. 开式膨胀水箱的容积计算

开式膨胀水箱的最小有效容积由调节容积和膨胀容积两部分组成，即

$$V_x=V_t+V_p \tag{8-7}$$

式中 V_x——开式膨胀水箱的最小有效容积，m^3；

V_t——水箱的调节容积，m^3；

V_p——系统最大膨胀水量占用的容积，m^3。

V_p 的计算式为

$$V_p=\left(\frac{\rho_0}{\rho_{av}}-1\right)V_c \tag{8-8}$$

式中 ρ_0——供暖系统冬季运行时最低供水温度 t_0 下的水密度，kg/m^3，不同温度下对应的水密度值见表 8-7；

ρ_{av}——系统最低供水温度和设计供水温度的（算术）平均密度，kg/m^3；

V_c——系统水容量，m^3。

表 8-7　不同温度下饱和水的密度

温度 t（℃）	5	10	15	20	25	30	35
水密度 ρ（kg/m^3）	1000	999.7	999.1	998.2	997.1	995.7	994.1
温度 t（℃）	40	45	50	55	60	65	70
水密度 ρ（kg/m^3）	992.2	990.2	988.1	985.7	983.2	980.6	977.8
温度 t（℃）	75	80	85	90	95	100	105
水密度 ρ（kg/m^3）	974.9	971.8	968.7	965.3	961.9	958.4	955.1
温度 t（℃）	110	115	120	125	130		
水密度 ρ（kg/m^3）	950.6	947	943.4	939	934.6		

系统水容量 V_c 是指系统中管道和设备内存水量的总和。影响系统内存水量的因素有设备及系统形式、管路布置、管径大小等多种因素，计算的方法也有很多种。当然，最准确的是系统建成后，根据系统的实际尺寸来计算系统水容量，但实际情况往往需要在系统未建成前对系统水容量进行计算，故一般系统水容量 V_c 的计算方法多采用估算。表 8-8 给出了按每千瓦热负荷估算所对应的散热器设备、室内管道、室外管道中水体积的估算方法。

表 8-8　供给每千瓦热量所对应的设备水容量 V_c　（L）

散热器型号	水容量 V_c 值	散热器型号	水容量 V_c 值
椭四柱 813 型	7.5	椭四柱 760 型	6.9

续表

散热器型号	水容量 V_c 值	散热器型号	水容量 V_c 值
椭四柱 745 型	6.7	板翼橄榄 745 型	7.5
椭四柱 660 型	7.3	管翼 750 型	7.1
椭三柱 745 型	10	T 型管 750 型	13.8
椭三柱 645 型	8.8	T 型管 650 型	15.4
椭三柱 450 型	7.9	卉艺二柱 750 型	13.6
椭柱 132 型	10.7	圆管三柱 745 型	7.5
椭柱翼型 745 型	14.6	圆管三柱 645 型	7.8
椭柱翼型 645 型	12.2	圆管三柱 445 型	7.9
内腔洁净四柱 760 型	7.2	圆管五柱 300 型	8.2
四柱 760 型	7.8	双管对流 700 型	8.1
四柱 660 型	7.8	双管对流 800 型	8.1
四柱 460 型	7.2	翼型 TY0.8/3-5 型	8.9
棱四柱 780 型	6.8	翼型 TY1.4/3-5 型	7.6
细四柱 525 型	5.8	翼型 TY2.8/3-5 型	10.1
细四柱 625 型	4.1	翼型 TY0.8/5-5 型	9.3
细四柱 725 型	5.0	翼型 TY1.4/5-5 型	11.1
柱翼 750 型	8.8	翼型 TY2.8/5-5 型	10.9
柱翼 780 型	9.5	管道系统	水容量 V_c
柱翼 680 型	10.1	室内机械循环管路	7.8
柱翼 650 型	6.2	室内自然循环管路	15.6
柱翼 450 型	5.9	室外机械循环管路	5.9
板翼 560 型	8.9		

2. 开式膨胀水箱的设计要点

（1）开式膨胀水箱的安装高度应高于供热区域内的最高建筑物。

（2）开式膨胀水箱最低水位应高于供暖水系统最高点 1m 以上。

（3）膨胀管应接至系统定压点上，一般接至水泵吸入口前。

（4）循环管接至系统回水干管上，接入点与定压点之间应保持不少于 1.5～3m 的水平距离。

（5）膨胀管和循环管应尽量减少弯管，并应避免存气。膨胀管不允许设置阀门。

（6）水箱高度大于或等于 1.5m 时，应设内外人梯；水箱高度大于或等于 1.8m 时，应设两组玻璃管液位计，液位计可用法兰连接或螺纹连接，其搭设长度为 70～200mm。

（7）开式膨胀水箱宜设水箱间，水箱设阀门处一侧距墙面不得小于 1.0m，无阀门处则不得小于 0.7m。水箱间梁底到水箱顶部人孔之间应预留人员检修高度。水箱间内应设排水装置。

（8）水箱的排水阀门应设在便于操作的地方。

图 8-3 中 h_t 对应开式膨胀水箱的调节容积 V_t，h_p 对应系统最大膨胀水量占用的容积 V_p。

（二）补水泵定压

补水泵定压的基本原理是利用水泵的启停，由电磁阀将系统某点压力的变化控制在设定的一个区间内，并由安全阀保证系统压力不超过系统承压能力，系统的膨胀水量可由补水箱或具有吸纳部分膨胀水量能力的气压罐来吸收，当水系统容量较大时，两者可同时来吸收系统膨胀水量。下面分别介绍由补水泵实现的三种定压方式：气压罐自动补水定压、电接点压力表控制定速补水泵定压、变频调速补水泵定压。

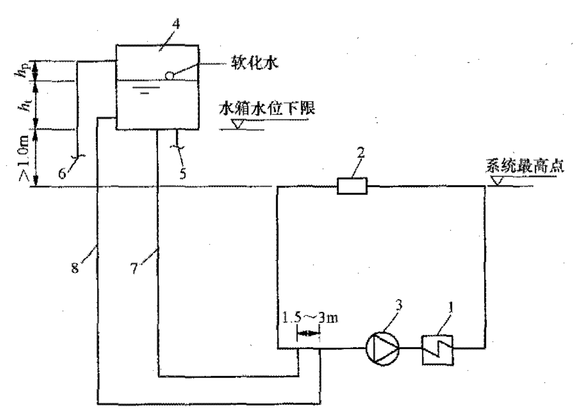


图 8-3 开式膨胀水箱定压系统图

1—热源；2—末端用户；3—循环泵；4—膨胀水箱；5—排水管；6—溢水管；7—膨胀管；8—循环管

1. 补水泵扬程

补水泵扬程需要克服补水点压力、补水管路阻力及补水吸入点与系统补水点之间的高差对应的静水压力，补水泵扬程应保证补水点压力比系统补水点压力高 30～50kPa，也可按下式来确定，即

$$H_p = 1.15(p_A + p_1 + p_2 - p_3) \qquad (8\text{-}9)$$

式中 H_p ——补水泵扬程，kPa；

p_A ——系统补水点压力，kPa；

p_1 ——补水泵吸入管路总阻力损失，kPa；

p_2 ——补水泵压出管路总阻力损失，kPa；

p_3 ——补水箱最低水位高出系统补水点的高度对应的静水压力，kPa。

2. 气压罐自动补水定压

气压罐自动补水定压装置的安装位置较开式膨胀水箱灵活，能够避免空气进入水中，减轻腐蚀，缓冲系统压力波动，消除水锤，延长补水泵使用寿命，是使用较多的定压方式。按气压罐气水分隔的

结构形式不同，又可分为隔膜式自动补水定压装置和气囊式自动补水定压装置。工程中应用较多的是气囊式自动补水定压装置，该装置的气压罐结构特点是气压罐内有个囊体，囊体内侧与水系统相通，囊体外侧与罐体之间充满了一定压力的氮气，罐体采用碳钢或不锈钢，气囊多采用三元乙丙橡胶（EPDM）。与隔膜式气压罐相比，这种形式可以保证水不与罐壁直接接触，使得罐壁内部无锈蚀，外部无凝露，使用寿命较长。

气囊式气压罐的工作原理是水与氮气被囊体分隔开，当囊体内侧水系统压力大于囊体外侧所充氮气的压力时，水会流入囊体，囊体变大，氮气侧压力升高，从而使水侧和气侧压力达到一个平衡。当水侧压力持续增加超过设定的压力时，水系统上的电磁阀和安全阀就会逐级开启泄水，以保证系统不会因超压而受损。反之，水侧压力不足时，囊体就会收缩，水侧和气侧压力达到一个新的平衡。当水侧压力严重不足时，气压罐不足以维持水系统的压力，这时就要采取补水泵等其他方式向系统内补水，以维持水系统正常工作所必需的压力。

水系统在运行时，系统是有脉动压力的，气压罐的使用可以消除这种脉动压力，稳定系统压力，减少水泵启停次数及延长水泵使用寿命。

集成水泵、气压罐和自控装置后的气压罐自动补水定压装置能够实现欠压补水、超压泄水、自动排气、吸收系统水膨胀量、消除管网水锤、定压等功能。图 8-4 给出了气压罐定压的示意。

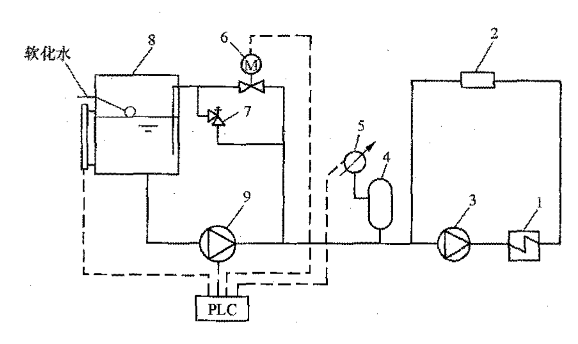


图 8-4　气压罐定压示意图

1—热源；2—末端用户；3—循环泵；4—气压罐；5—电接点压力表；6—电磁阀；7—安全阀；8—补水箱；9—补水泵

气压罐自动补水定压装置的选型主要涉及安全阀开启压力、电磁阀开启压力、停泵压力、启泵压力、扬程、气压罐容积这几个参数。

图 8-5 给出了配有气压罐自动补水定压装置的循环泵入口处补水点压力变化示意。可以看出当补水点压力低于启泵压力 p_1 时，补水泵启动向系统补水，系统压力逐步提高，当系统压力达到 p_2 时停泵。此时当系统由于温度变化等原因压力持续增至电磁阀开启压力 p_3 时，电磁阀将短暂开启泄压。如图 8-5 中虚线所示，当系统压力由于压力波动或其他原因导致压力继续增加并超过补水点处安全阀开启压力 p_4 时，安全阀开启。此时安全阀开启压力 p_4 是系统补水点的最高限定压力。

（1）安全阀开启压力 p_4。安全阀开启压力 p_4 是指系统中补水点处需要限定的安全压力。水系统压力最高点是在循环泵出口处，如果系统超压，超压点首先出现在这里。对于承压能力为 1000kPa 的供热系统而言，要保证系统循环泵出口压力不超过管材承压，则循环泵入口处补水点的最高限定压力，即安全阀最大开启压力 $p_{4,max}$，其计算式为

$$p_{4,max}=p_c-H_r \tag{8-10}$$

式中　$p_{4,max}$——安全阀最大开启压力，kPa；

p_c——系统承压能力取值由系统设置决定，对一般高度的建筑物而言，可取 1000kPa；

H_r——循环泵的扬程，kPa。

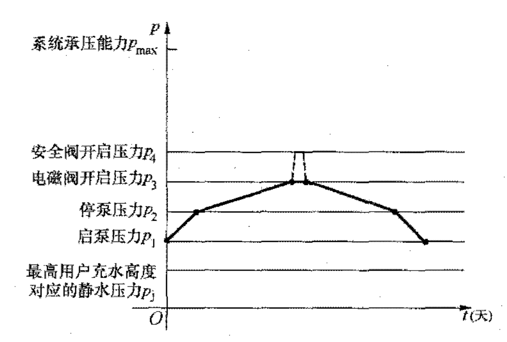


图 8-5　循环泵入口处补水点压力变化示意图

需要强调的是：此方法确定的 $p_{4,max}$ 是系统运行时保证系统不超压时安全阀最大开启压力，有时考虑现场实际施工水平等实际因素，会将安全阀开启压力 p_4 取得更小些，以降低系统的最大运行压力，增加系统运行的可靠性。

（2）电磁阀开启压力 p_3。冬季供暖系统初次使用上水时，系统水温较低，供暖开始后，系统水温逐渐上升，产生的膨胀水量使得系统的压力逐渐升高。当压力达到设定的 p_3 值时，电磁阀开启泄水，一般将泄水引至补水箱中。电磁阀开启压力 p_3 计算式为

$$p_3=0.9p_4 \tag{8-11}$$

（3）停泵压力 p_2。当水系统压力由于水膨胀或补水逐渐升高达到设定的停泵压力时，补水泵停止工作。式（8-12）求出的停泵压力是补水泵的最高停泵压力 $p_{2,max}$，最终应与计算气压罐容积的压力比对应的 p_2 综合比较调整。

$$p_{2,max}=0.9p_3 \tag{8-12}$$

（4）启泵压力 p_1。当水系统压力由于水收缩或漏

水下降时，补水泵启动，向系统中补水，补水压力高于系统补水点处的压力时，补水泵才能将水补入系统。补水泵定压点一般选在系统中压力较低的循环水泵入口处。定压点处补水泵启泵压力计算式为

$$p_1=p_j+p_s+20 \quad (8\text{-}13)$$

式中 p_j ——最高用户充水高度对应的静水压力；

p_s ——与热网供水温度对应的汽化压力，kPa；

20 ——安全裕量，一般取 20kPa。

（5）气压罐容积计算。气压罐利用密闭气罐内气体的可压缩性来调节系统水的容积从而实现对系统压力的控制。可按罐体是否容纳系统膨胀水量来计算气压罐容积，本节介绍的是只负责定压，不容纳系统膨胀水量的气压罐容积计算，这种定压方式较为常见。有关容纳系统膨胀水量的气压罐容积计算可见参考文献［13］。

不容纳系统膨胀水量的气压罐容积计算式为

$$V \geqslant V_{min}=\frac{\beta V_t}{1-\alpha} \quad (8\text{-}14)$$

$$\alpha=\frac{p_1+100}{p_2+100}$$

式中 V——气压罐实际总容积，m^3。

V_{min} ——气压罐最小总容积，m^3。

V_t ——气压罐调节容积，m^3。不宜少于 3min 平时运行的补水泵流量。当采用变频泵时，补水泵流量可按额定转速时补水泵流量的 1/3～1/4 确定。

β ——容积附加系数，气囊式气压罐取 1.05。

α ——压力比，宜取 0.65～0.85，必要时取值范围可扩大至 0.5～0.9。超出范围时，可通过调整 p_2 取值。α取值过大，$1-\alpha$ 值会很小，气压罐容积会很大，但由 $\alpha=\frac{p_1+100}{p_2+100}$ 可知，p_2 会更接近 p_1。α取值过小，气压罐容积变小，但由 $\alpha=\frac{p_1+100}{p_2+100}$ 可知，p_2 会远大于 p_1，这样虽然泵的启停次数减少了，减少电接点压力表频繁动作易于损坏的情况，但会导致系统的工作压力过高，对系统的承压要求较高。因此计算时应综合考虑气压罐容积和系统的最高运行工作压力。

如图 8-4 所示，当气压罐定压系统中采用电接点压力表来进行压力控制时，由于供暖系统静水压线的波动范围较大，补水泵扬程可近似取停泵压力的 1.15 倍，即

$$H_b=1.15p_2 \quad (8\text{-}15)$$

式中 H_b——补水泵扬程，kPa。

表 8-9 给出了气囊式气压罐定压补水装置的选型参数。

表 8-9　气囊式气压罐定压补水装置的选型参数

序号	总容积 V (m^3)	调节容积 V_t (m^3)	立式气囊式气压罐		配用补水泵		设备尺寸		
			工作压力 p_t (MPa)	流量 Q (m^3/h)	扬程 H_b (kPa)	功率 P (kW)	长 (mm)	宽 (mm)	高 (mm)
1	0.35	0.11	0.6	2.4～4.7	462～624	2.2	1950	800	1970
			1.0		770～1040	3			
			1.6		1155～1560	4			
2	0.82	0.26	0.6		462～624	2.2	2010	800	2410
			1.0		770～1040	3			
			1.6		1155～1560	4			
3	1.4	0.49	0.6		462～624	2.2	2070	1000	2640
			1.0		770～1040	3			
			1.6		1155～1560	4			
4	2.5	0.8	0.6	4.5～9.5	460～655	3	2310	1200	3066
			1.0		690～978	4			
			1.6		920～1304	5			
5	3.46	1.2	0.6		460～650	3	2580	1300	3200
			1.0		690～978	4			
			1.6		920～1304	5			

续表

序号	总容积 V (m^3)	调节容积 V_t (m^3)	立式气囊式气压罐		配用补水泵		设备尺寸		
			工作压力 p_t (MPa)	流量 Q (m^3/h)	扬程 H_b (kPa)	功率 P (kW)	长 (mm)	宽 (mm)	高 (mm)
6	5	2	0.6	4.5～9.5	460～650	3	2950	1400	3520
			1.0		690～978	4			
			1.6		920～1304	5			
7	8.53	3.1	0.6		460～650	3	3540	1600	3780
			1.0		690～978	4			
			1.6		920～1304	5			

3. 电接点压力表控制定速补水泵定压

电接点压力表控制定速补水泵的定压系统简单、可靠、维护量小，适合厂区供暖系统。

电接点压力表是在普通压力表的基础上增加了一套电气装置，它除了具备普通压力表测量和指示系统压力的功能外，还可在测点压力达到设定值时，输出开关量信号。如图 8-6 所示，常用的电接点压力表表盘上一般有三个触点开关，两个静触点，一个动触点。两个静触点分别用于设定需要的压力上下限，动触点则随着压力表指针来回移动，当指示压力达到设定的低压值时，动触点与低压静触点接通，输出一个电信号。当压力继续升高达到设定的高压值时，动触点与高压静触点接通，输出另一个电信号。

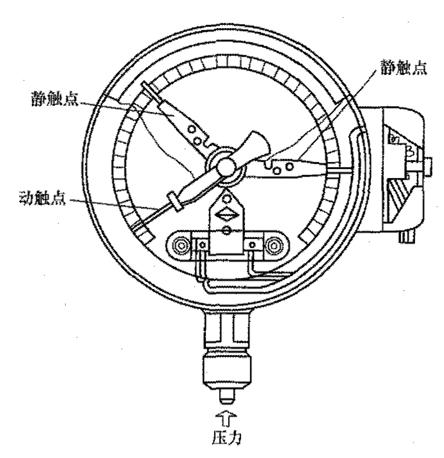


图 8-6　电接点压力表示意图

图 8-7 所示为电接点压力表控制定速补水泵的定压系统示意。图 8-8 为此定压系统的运行水压。该系统为补水泵间歇工作的定压系统。补水泵 4 的运行靠电接点压力表 5 表盘上的触点开关控制。补水泵定压点一般选在循环水泵 3 入口处，当系统失水时，热网回水压力降低到 p_1 时，电接点压力表 5 控制补水泵 4 运行向系统补水，当回水压力上升到 p_2 时，补水泵 4 停止工作。这样，补水泵 4 在电接点压力表 5 控制下间歇工作，保持热网循环水泵 3 入口处压力大致在 p_1～p_2 的压力区间波动。通常取启泵压力 p_1 和停泵压力 p_2 之间的压力波动范围在 50kPa 左右，此值过大会使热网的供水压力过高，过小又会使电接点压力表触点开关动作过于频繁而易于损坏。有时为了让触点的接触更加可靠，加快接触动作，消除电弧，延长电接点压力表使用寿命，会采用磁助式电接点压力表。

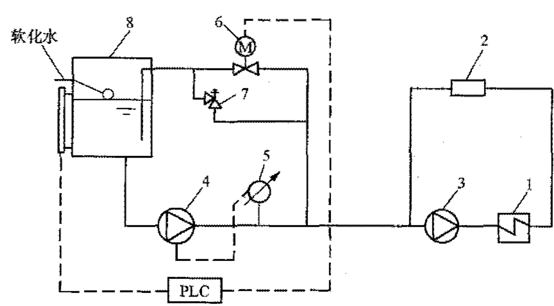


图 8-7　电接点压力表控制定速补水泵的定压系统示意图

1—热源；2—末端用户；3—循环泵；4—补水泵；5—电接点压力表；6—电磁阀；7—安全阀；8—补水箱

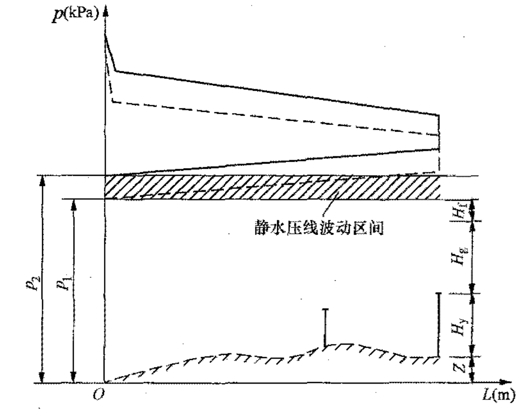


图 8-8　电接点压力表控制定速补水泵的定压系统的运行水压图

p_2—电接点压力表停泵压力；p_1—电接点压力表启泵压力；Z—地势高低；H_y—用户系统充水高度；H_g—汽化压力值；H_f—富裕值（30～50kPa）

此定压系统中电磁阀的开启压力有时取停泵压力再加 50kPa，安全阀的开启压力取电磁阀开启压力再加 50kPa，并应校核安全阀的开启压力取值不应超过式（8-10）所确定的安全阀最大开启压力。

4. 变频调速补水泵定压

图 8-9 所示为变频调速补水泵定压示意，变频调速补水泵定压的工作原理是根据供暖系统的补水压力变化调整补水泵电源频率，进而无极调整补水泵转速，实现补水流量的及时调节，保证补水点压力恒定。

采用变频调速补水的方式可以解决补水泵频繁启动所引起的启动瞬间压力过高，系统中压力变化快，造成管网压力不稳定的问题。

（1）启停泵控制。控制柜根据压力传感器监测到的压力信号调节变频调速补水泵的启停和流量。补水泵的启停泵压力计算与气压罐启停泵压力计算相同，不同的是停泵压力 p_2 取值不再受α值的限制，p_2 取值只要小于补水点的最大压力，不至系统超压，同时保证停泵压力 p_2 取值与启泵压力 p_1 之间的波动范围不至于过小，导致水泵频繁动作即可。

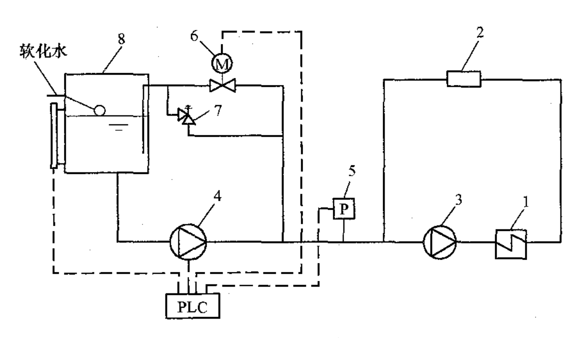


图 8-9 变频调速补水泵定压系统示意图

1—热源；2—末端用户；3—循环泵；4—补水泵；5—压力传感器；6—电磁阀；7—安全阀；8—补水箱

（2）安全阀及电磁阀开启压力。安全阀最大开启压力 $p_{4,\max}$ 及电磁阀开启压力 p_3 可分别按式（8-10）和式（8-11）计算，也可按式（8-16）和式（8-17）取值。按式（8-16）和式（8-17）取值的好处是整个系统能在较低的压力下工作，增加系统运行的可靠性，但应校核此安全阀的开启压力 p_4 取值应小于或等于 $p_{4,\max}$，即

$$p_3 = p_2 + 50 \quad (8\text{-}16)$$

$$p_4 = p_3 + 50 \quad (8\text{-}17)$$

（三）其他定压方式

旁通管定压可以降低供热系统的运行压力，同时方便调节系统的运行压力，但旁通水量也消耗一定的水泵电能，此种定压方法在供热首站中应用较多，在厂区供暖管网系统中应用较少。

另外，在实际工程中，也有利用能保证水源、水压的工艺水来定压的形式，例如，当软化水或闭式水的供水压力满足供暖热水加热系统定压要求且压力稳定时，可将此水直接接在系统的补水点处，这种定压方法虽然投资少，运行费用低，但系统定压直接受限于相关工艺系统压力波动的影响。

四、供暖热水加热系统的凝结水回收

凝结水回收是指将蒸汽在用热设备内放热凝结后产生的凝结水经疏水器、凝结水管道等设备进行回收利用的过程。回收包括两方面：回收凝结水和回收凝结水热量。

当蒸汽经过厂区供暖热水加热系统的壳管式汽-水换热器时，蒸汽通过相变换热凝结成水，产生的凝结水根据需要一般可回至热机除氧器、汽轮机或锅炉的疏水扩容器中。

1. 回至热机除氧器

如图 8-10 所示系统，换热器 1 产生的凝结水流入疏水罐 2 中，当凝结水水质合格时，由凝结水泵 4 打入除氧器，引入电厂回热系统。此种凝结水回收方式即加压回水型回收方式。当凝结水水质不合格时，可将凝结水排入厂区供暖热水加热系统的补水箱 3 中。为避免凝结水流入开式补水箱中产生二次蒸发，凝结水应从水箱较低的位置接入。需要注意的是供暖产生的凝结水打入除氧器后，也随之将凝结水中的杂质带入除氧器，这些杂质将直接参与热机系统的汽水循环，直到流经凝汽器下游的化学精处理工艺时才能被过滤掉。因此，当锅炉工艺对凝结水水质有严格要求时，应与锅炉工艺确认是否可采用此种回收方式。

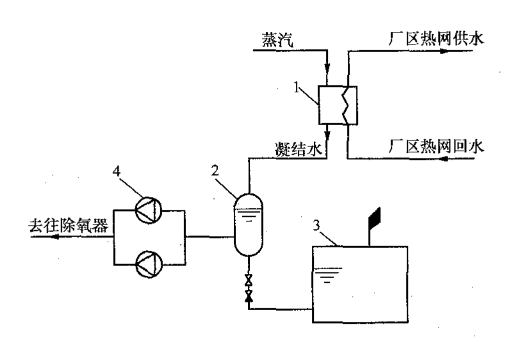


图 8-10 回至热机除氧器的凝结水回收系统示意图

1—换热器；2—疏水罐（凝水罐）；3—供暖热水加热系统的补水箱；4—凝结水泵

2. 回至疏水扩容器

如图 8-11 所示，换热器 1 产生的凝结水流过疏水器 2 后，当凝结水水质不合格时，可将凝结水排入供暖热水加热系统的补水箱中，这种情况一般在供暖初

期供暖系统刚刚启动时发生，持续时间较短。当凝结水水质合格后，可将凝结水排至汽轮机或锅炉工艺中的疏水扩容器中。当锅炉工艺采用的是超超临界机组时，还可将供暖凝结水排至零米层汽轮机头部设置的清洁水箱中。

当凝结水回收管路的阻力较大时，则疏水阀出口处应考虑一定的压力来克服这段阻力，即疏水阀选型时应正确计算所需的疏水阀背压。此种凝结水回收方式即余压回水型回收方式。

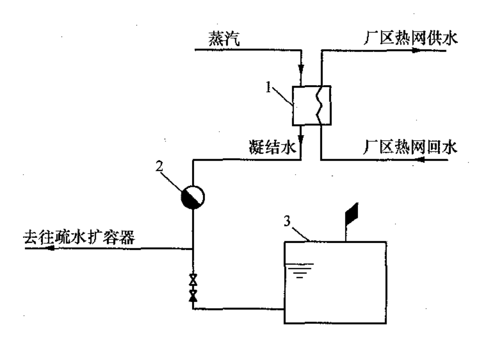


图 8-11　回至疏水扩容器的凝结水回收系统示意图
1—换热器；2—疏水器；3—供暖热水加热系统补水箱

需要注意的是，供暖凝结水应分别排至两台或多台机的疏水扩容器中，避免机组故障或检修时造成凝结水无法排出。另外，当火力发电厂处于建设阶段时，为保证冬季施工进度，一般采用启动锅炉作为厂区供暖热水加热系统的热源，此时产生的凝结水除部分作为供暖系统补水外，其余部分的凝结水一般不再回收。

第四节　供暖加热站主要设备

供暖热水加热系统以蒸汽或热水为加热热源，通过换热器对供暖回水进行加热，再经循环水泵将热量通过热水输送到厂区各建筑。厂区加热站的主要设备有换热器、热网循环水泵、凝结水泵及凝结水箱、水处理装置、汽水换热机组与水水换热机组、混水机组、水箱等。

一、换热器

换热器是用于高温与低温流体之间热量交换的设备，是加热站中的加热装置。按介质分类，可分为汽-水换热器和水-水换热器；按热交换的方式分类，分为表面式换热器和混合式换热器。表面式换热器是高温与低温两种流体被金属表面隔开，通过金属壁面进行热交换的换热器，如壳管式、套管式、容积式、板式、螺旋板式换热器等。混合式换热器是冷热两种流体直接接触进行混合而实现热交换的换热器，如淋水式换热器等。供暖加热站中的换热器主要有壳管式汽-水换热器和板式水-水换热器。

（一）壳管式汽-水换热器

壳管式汽-水换热器按应力补偿的方式不同，主要有下列几种形式：

1. 固定管板式汽-水换热器

固定管板式汽-水换热器的典型结构示意如图 8-12（a）所示。它是由带有蒸汽进出口连接短管的圆柱形外壳 1、多根管子所组成的管束 2、固定管束的管栅板 3、带有被加热水进出口连接短管的前水室 4 及后水室 5 组成。蒸汽从管束外表面流过，被加热水在管束内流过，两者通过管束的壁面进行热交换。加热站汽-水换热器管束一般选用碳素钢材质。

为了增加流体在管外空间的流速，强化传热，通常在前水室、后水室间加折流隔板，使管束中的水由单行程变成二行程或多行程。这种换热器结构简单、造价低，每根管子都能单独更换，管内便于清洗。缺点是管外清洗困难，管壳间有温差应力存在。当两种介质温差较大时，必须设置膨胀节 6，图 8-12（b）所示为带膨胀节的壳管式汽-水换热器结构示意。固定管板式汽-水换热器适用于壳程介质清洁、不易结垢、温差不大和壳程压力不高的场合。

2. U 形壳管式汽-水换热器

U 形壳管式汽-水换热器结构示意如图 8-12（c）所示。它将换热器换热管弯成 U 形，两端固定在同一管板上，因此，每个换热管可以自由地伸缩，解决了热膨胀问题，同时管束 2 可以随时从壳体中整体抽出进行清洗。但其管内无法用机械方法清洗，管束中心部位的管子拆卸不方便。U 形壳管式汽-水换热器多用于温差大、管束内流体较干净、不易结垢的场合。

3. 浮头壳管式汽-水换热器

浮头壳管式汽-水换热器结构示意如图 8-12（d）所示。一端管板与壳体固定，而另一端的管板可以在壳体内自由浮动，不相连的一头称为浮头，即使两介质温差较大，管束和壳体之间也不产生温差应力。这种换热器消除了温差应力的影响，可用于温差较大的两种介质的换热；管程和壳程均能承受较高的介质压力；管束可从壳程一端抽出，壳程与管程的清洗均很方便。但其结构较复杂。

换热管一般采用光管，因为其结构简单，制造方便，但强化传热的性能不足。为了强化传热，有时会对管子的外形及翅片的布局进行改造。图 8-13～图 8-15 列出了几种异形管、纵向翅片管及径向翅片管的外形。

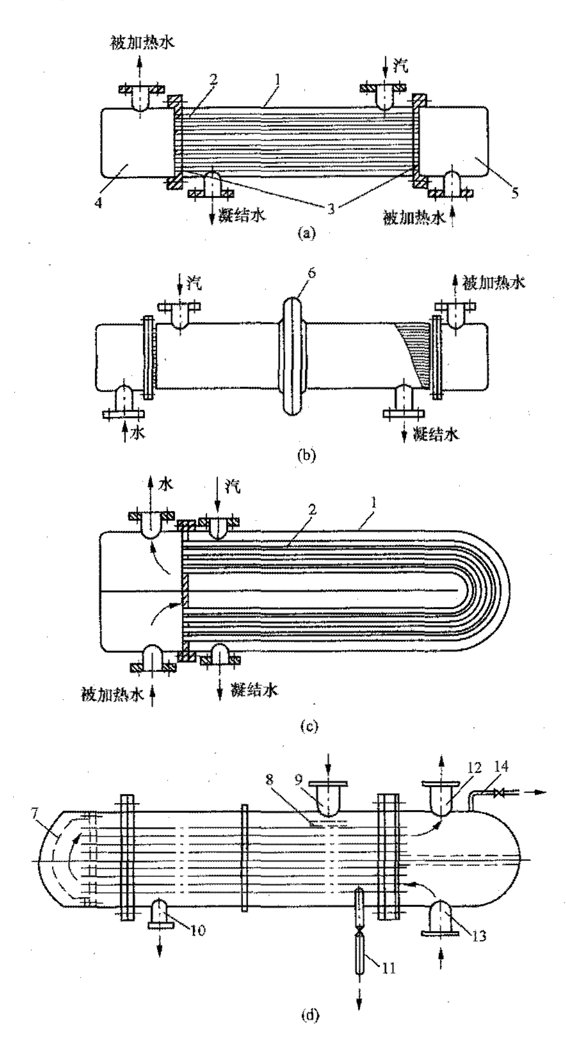


图 8-12 壳管式汽-水换热器结构示意图

（a）固定管板式汽-水换热器；（b）带膨胀节的壳管式汽-水换热器；（c）U 形壳管式汽-水换热器；（d）浮头壳管式汽-水换热器

1—外壳；2—管束；3—管栅板；4—前水室；5—后水室；6—膨胀节；7—浮头；8—挡板；9—蒸汽入口；10—凝水出口；11—汽侧排气管；12—被加热水出口；13—被加热水入口；14—水侧排气管

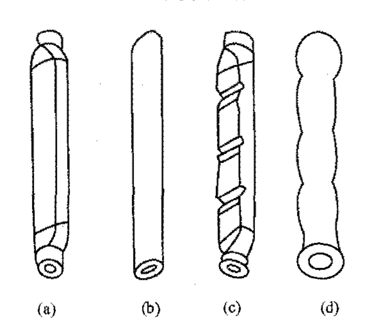


图 8-13 换热器异形管外形图

（a）扁平管；（b）椭圆管；（c）凹槽扁平管；（d）波纹管

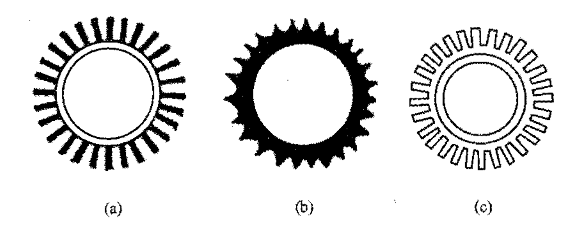


图 8-14 换热器纵向翅片管外形图

（a）焊接外翅片管；（b）整体式外翅片管；（c）镶嵌式外翅片管

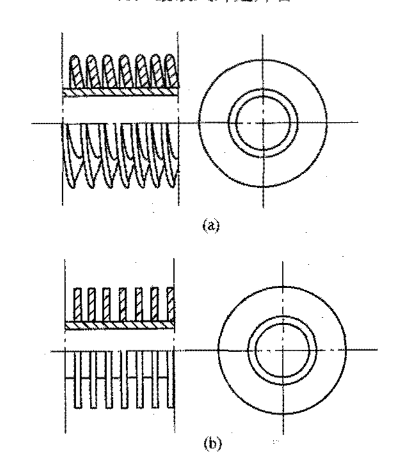


图 8-15 换热器径向翅片管外形图

（a）螺旋形肋片管；（b）径向肋片管

（二）水-水换热器

水-水换热器按应力补偿的方式不同，主要有下列几种形式：

1. 板式水-水换热器

板式水-水换热器是一种传热系数高、结构紧凑、容易拆卸、热损失小、不需保温、质量小、体积小，适用范围大的换热器。板式水-水换热器缺点是板片间截面积较小，易堵塞，且周边很长、密封麻烦、容易渗漏、金属板片薄、刚性差。因此，板式水-水换热器不适用于高温高压系统。

板式水-水换热器由许多平行排列的传热板片叠加而成，板片之间用密封垫密封，冷、热水在板片之间的间隙里流动。换热板片的结构形式有很多种，我国应用较多的是人字形换热板片，如图 8-16 所示，左侧上下两孔通加热流体，右侧上下两侧通被加热流体。板片的形状既有利于增强传热，又可以增大板片的刚性。为增大换热效果，冷、热水应逆向流动。

2. 分段式水-水换热器

分段式水-水换热器由带有管束的几个分段组成，各段之间用法兰连接。每段采用固定管板，外壳上设有波形膨胀节，以补偿管子的热膨胀。为了便于清除水垢，被加热水在管内流动，而加热用热水在管外流

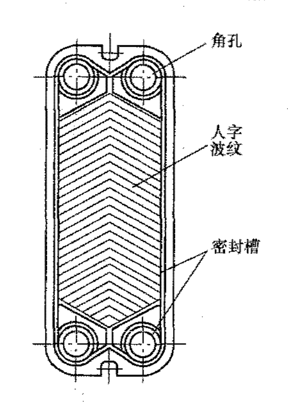


图 8-16 人字形换热板片结构图

动，且两种流体为逆向流动，传热效果较好。分段式水-水换热器的结构示意如图 8-17 所示。

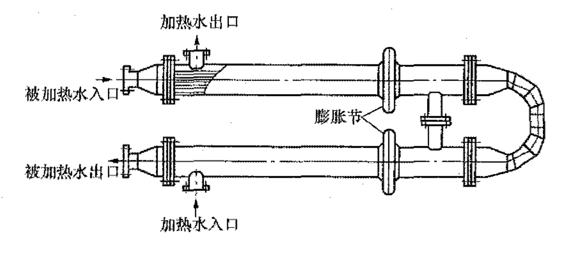


图 8-17 分段式水-水换热器结构示意图

3. 套管式水-水换热器

套管式水-水换热器由若干个标准钢管做成的套管焊接而成，形成管套管的形式，是一种最简单的壳管式。与分段式水-水换热器一样，为提高传热效果，换热流体为逆向流动。套管式水-水换热器结构示意如图 8-18 所示。

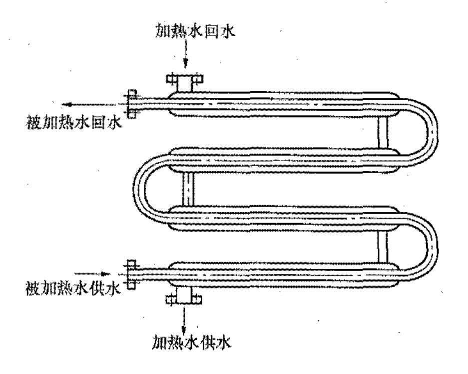


图 8-18 套管式水-水换热器结构示意图

（三）换热器选择原则

（1）当任何一台换热器停止工作时，剩余换热器的设计换热量应保障供热量的要求，寒冷地区不应低于设计供热量的 65%，严寒地区不应低于设计供热量的 70%，即按照 2×65%或 2×70%选取。

（2）换热器的容量和台数应根据供暖、通风和生活热负荷选择，一般不考虑台数备用，但数量不少于 2 台。换热器的总换热量应在供暖设计热负荷的基础上乘以 1.1～1.15 的附加系数。

（3）选用换热器时应注意压力等级、使用温度、接口的连接条件，以保证系统安全运行。

（4）换热器有立式和卧式两种，采用立式换热器可以减少占地，但应考虑安装、检修时的起吊问题；采用卧式换热器虽占地稍多，但安装检修方便。

（5）当选择板式换热器时还应注意以下问题：

1）传热系数 K 值不能选择过大，否则会造成板式换热器换热面积过小，长期运行后，达不到供暖效果。

2）板式换热器对水中杂质含量要求较高，在安装板式换热器前，必须对管道系统进行彻底清理。同时板式换热器热媒水入口处要加除污器并考虑排污措施。

（四）换热器选择计算

1. 换热面积计算

换热器选择计算主要是计算换热面积。换热器多采用冷、热流体流动方向相反的逆流布置方式，图 8-19 所示为加热流体和被加热流体在逆流布置时的温度沿流程变化的示意。图中箭头表示流体流动的方向，t_1 和 t_2 分别为流入和流出换热器的被加热水温度，t_1' 和 t_2' 分别为流入和流出换热器的加热水温度，t_{av} 为加热蒸汽的温度。换热器两端Δt_{max}、Δt_{min} 分别为冷热流体在换热器两端形成的最大温差和最小温差。

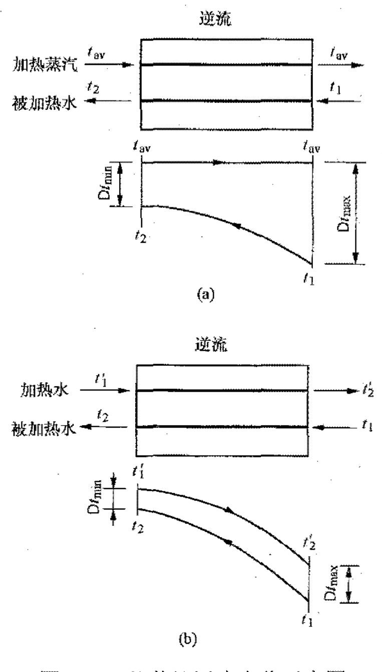


图 8-19 换热器温度变化示意图

（a）汽-水换热；（b）水-水换热

根据传热学原理，换热器所需的换热面积按式（8-18）计算，其中Δt_{av}是对数平均温差，是通过微积分得到的，计算精度较算数平均温差更高，即

$$A=\frac{Q}{3.6\eta\beta K\Delta t_{av}} \tag{8-18}$$

式中 A——换热器所需换热面积，m^2。

Q——换热器的热负荷，W。

η——换热器效率，取0.96～0.99。

β——换热器内壁污垢的修正系数，对有薄水垢的碳钢管取0.65，此数值根据实际水质情况可做适当调整。水质好时，此数值可调整的更大些。

K——换热器的传热系数，在初设或可研阶段进行粗略估算时，可采用厂家样本给出的数据，或采用表8-10中的数据，如果需要详细计算K值，可见参考文献［5］或参考文献[6]中给出的计算方法，W/(m^2·℃)。

Δt_{av}——加热介质和被加热介质的对数平均温差，℃。

$$\Delta t_{av}=\frac{\Delta t_{max}-\Delta t_{min}}{\ln\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \tag{8-19}$$

换热器选型时，换热器的换热面积应考虑1.1～1.2的富裕系数。

表8-10 常用换热器综合性能

换热器类型	传热系数K［W/（m^2·℃）］		工作压力（MPa）	介质允许的压差（MPa）	压力损失（MPa）	特点
双纹管式	水-水	2000～4300	≤8	≤8	≤0.05	防垢防堵效果较好，同等热负荷条件下，尺寸比波节管式换热器小
	汽-水	3000～5000				
波节管式	水-水	2000～3500	≤8	≤8	≤0.03	适用于汽-水换热，承压高，换热效率高。部结垢不堵塞，运行维修简单
	汽-水	2500～4000				
板式	水-水	3000～6000	≤2.5	≤0.5	≤0.05	适用于小温差水-水换热，换热效率高，占地面积小。但受板间密封材质耐温程度的限制，一般板式换热器的许用工作温度不超过120～130℃
螺纹扰动盘管式	水-水	1500～2500	≤1.6	≤1.6	≤0.04	适用于水-水换热，具有容积性，可不加水箱，连续运行稳定，不易结垢
	汽-水	3000～4000				
螺旋螺纹管式	汽-水	7000～8000	≤1.6	≤1.6	≤0.05	适用于大温差汽-水换热，传热系数高，不渗漏，耐腐蚀，外形体积小，节省占地面积

注 本表内容摘自参考文献［5］及参考文献［6］。

有时汽机专业提供的蒸汽往往是过热蒸汽，因此换热器的整个换热过程往往不是图8-19所示的单一的换热过程，而是几种换热过程的综合。首先过热蒸汽被冷却为饱和蒸汽，称为过热段。然后饱和蒸汽再进行换热，被冷却为对应压力下的冷凝水，称为饱和段。冷凝水在换热器内进一步换热冷却，冷凝水温度降至设计排放温度，称为疏水冷却段。以上换热过程是汽-水换热和水-水换热在同一个换热器内完成的。另一种是汽-水换热、水-水换热分别在不同的换热器内完成，利用热网回水进行二级加热。热网回水首先经过水-水换热器，回水温度提高的同时，降低冷凝水排水温度。然后热网回水再进入汽-水换热器，回水温度进一步提高。

对抽汽凝汽式汽轮机而言，汽机专业提供的供暖用蒸汽多来自低压辅助蒸汽联箱，一般是压力范围为0.1～1.3MPa过饱和蒸汽。壳管式汽-水换热器在整个换热过程中，过热段的传热系数一般为400～800W/(m^2·℃)，饱和段的传热系数一般为3000～4000W/(m^2·℃)，疏水冷却段的传热系数一般为800～2000W/(m^2·℃)。可以看出有相变发生的饱和段是传热系数最大、换热效率最高的阶段。

图8-20给出了逆流换热条件下，表压为0.4MPa、饱和温度为151℃的过热蒸汽和设计供回水温度为110/70℃的热网水在加热器中温度变化的示意。图8-20中实线表示蒸汽介质，虚线表示供暖水，各换热过程均简化成直线。

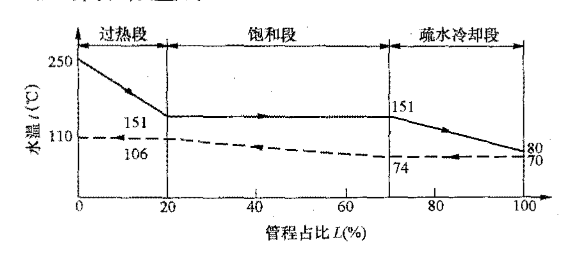


图8-20 加热器内蒸汽和热网水水温变化示意图

由于建筑供暖负荷多随室外温度变化而改变，为适应供暖负荷的变化，需要调节换热器供暖负荷，调节一般通过调节加热流体的入口流量或者出口流量来实现。由于加热流体入口处的温度、压力等级要大大高于出口处的温度、压力等级，所以对汽-水换热机组而言，控制蒸汽入口处流量所用阀门比控制疏水出口处流量所用阀门的温度及压力等级高，因此，具体采用控制蒸汽流量方式还是采用控制凝结水液位方式来调节供暖负荷应综合考虑。

选用汽-水换热器的温控方案时，除了通过调节一次侧蒸汽阀门的开度来调节供热负荷和二次侧出水温度，还可利用调节精度较高的电动调节阀控制立式壳管式换热器内冷凝水水位，水位的变化使蒸汽与换热器壁面的接触面积发生变化，从而改变换热器负荷，控制二次侧热水的出水温度。

此种温控方案的好处是换热器内的冷凝水在排放前会进一步冷却，显著降低了冷凝水管道内的二次蒸汽量，节能的同时提高冷凝水的回收效果。但此种温控方案的主要缺点是当负荷变化时，系统反应滞后，跟不上负荷的变化，同时要求换热器能够承受一定的积水。

2. 蒸汽量计算

换热器所需耗汽量可根据式（8-21）计算。考虑到换热器有一定的热损失，换热器实际需要输入的热量计算式为

$$Q'=\frac{Q}{\eta} \tag{8-20}$$

式中 Q'——换热器实际需要输入的热量，MW；

η——换热器效率，取 0.96～0.99；

Q——换热器的热负荷，MW。

汽-水换热器加热热网回水的蒸汽耗量应为

$$D=3600\frac{Q'}{h_g-h_n} \tag{8-21}$$

式中 D——汽-水换热器加热热网回水的蒸汽耗量，t/h；

h_g——供汽比焓，即加热蒸汽的比焓，kJ/kg；

h_n——凝结水比焓，kJ/kg。

当供汽为饱和或微过热蒸汽、凝结水饱和温度回收时，式（8-21）的分母为该压力下的汽化潜热。

蒸汽和凝结水比焓可通过附录 H 直接查得。凝结水比焓也可通过计算确定，一般当工作压力小于 1.0MPa 时，凝结水的比焓近似计算式为

$$h_n=ct \tag{8-22}$$

式中 c——水的比热容，取 4.19kJ/（kg·℃）；

t——饱和压力下的凝结水温度，℃。

根据上述公式，80℃时饱和凝结水的比焓约为 335kJ/kg。

蒸汽和凝结水的比焓也可通过水和水蒸气性质国际联合会（IAPWS）提出的 IF97 水和水蒸气 Excel 计算模型直接引用和查询，该计算模型适用范围为温度 0～800℃、压力 0～100MPa 及 800～2000℃、压力 0～10MPa，已能满足暖通专业对水蒸气参数的使用范围和计算精度。

二、热网循环水泵

热网循环水泵是加热站系统中的重要设备，对系统的投资和运行影响较大，因此，正确地选择与合理使用热网循环水泵是实现厂区供暖系统安全和经济运行的重要保证。

1. 热网循环水泵流量计算

热网循环水泵流量计算式为

$$G=\frac{0.86Q_h}{t_s-t_h} \tag{8-23}$$

式中 G——热网循环水泵流量，t/h；

Q_h——供热系统设计热负荷，kW；

t_s——设计供水温度，℃；

t_h——设计回水温度，℃。

2. 热网循环水泵扬程计算

热网循环水泵扬程计算式为

$$H=1.15(p_1+p_2+p_3+p_4+p_5) \tag{8-24}$$

式中 H——热网循环水泵扬程，kPa。

p_1——热水通过换热器内部的压力损失，kPa。汽-水换热器水侧的压力损失一般在 20～60kPa。

p_2、p_3——热水通过供回热网管道的压力损失，kPa。根据网路水力计算结果确定，管网布置时负荷近端的比摩阻宜取大些，负荷远端的比摩阻宜取小些，对最不利环路而言，比摩阻一般可取 40～80Pa/m。

p_4——热水通过热用户处的压力损失，kPa。对与网路直接连接的供暖系统，为 10～30kPa；对与网路直接连接的暖风机供暖系统或大型的散热器供暖系统，为 30～50kPa；对采用水-水换热器间接连接的用户系统，为 60～80kPa。

p_5——热源系统内部其他损失，kPa。水处理装置的阻力一般为 10～30kPa，除污器的阻力一般为 5～30kPa，分（集）水器的阻力一般为 10kPa，止回阀的阻力一般为 5～35kPa，静态平衡阀的阻力一般为 5～30kPa。当具备条件时，以上阻力也可参照厂家提供的设备阻力损失来计算。

3. 热网循环水泵选择原则

（1）循环水泵的总流量不小于设计总流量，扬程

不小于相应运行条件下的热网总阻力。同时让水泵的实际工况点与最佳工况点尽可能相接近，且能长期在高效区运行，以提高循环水泵长期运行的经济性。

（2）循环水泵流量-扬程曲线在水泵工作点附近应比较平缓，即循环水泵工作点附近区间内的扬程对系统流量变化较不敏感。

（3）循环水泵的承压、耐温能力应与热网的设计参数相匹配。由于循环水泵一般多安装在热网回水管上，循环水泵允许的工作温度，一般不应低于 80℃。

（4）单台泵运行时，应选择流量-扬程性能曲线趋于平缓的水泵；多台泵并联运行时，应选择流量-扬程性能曲线陡峭的水泵；单台泵运行和多台泵运行同时存在时，多以整个供暖季运行时间较长的泵为准。

（5）循环水泵单台容量、台数的确定应结合运行调节方式来选择。循环水泵的台数不得少于两台，其中一台备用。

4. 热网循环水泵的匹配

厂区热网常用的供热调节方式有质调节或分阶段改变流量的质调节。

当系统采用质调节时，宜按 2×100%容量选用水泵并联工作。并联循环水泵的型号应相同，流量-扬程曲线宜平缓。

供暖设计热负荷对应的供暖室外计算温度是历年平均不保证 5 天的日平均温度，而北方地区设计计算用供暖天数一般为 90～300 天，因此，供暖加热站大部分时间是在部分负荷工况下工作的。分阶段改变流量的质调节是把整个供暖期按室外温度分成几个阶段，不同阶段对应着不同挡位的流量，每个阶段内都采用热网流量不变，改变供回水温度的质调节方式。这种调节方式既考虑到量调节对流量进行调节的特点，同时兼顾质调节操作简便的优势。缺点是未最大限度地发挥水泵的节能潜力，对水泵的控制运行管理水平有一定要求。

当厂区加热站采用分阶段改变流量的质调节时，循环水泵可采用大、小循环泵配置，大、小循环水泵的流量宜根据供暖初期、严寒期、末期负荷变化的规模确定。一般不宜少于 3 台，其流量、扬程不宜相同。

设计举例如下：

【例 8-1】 当厂区加热站分为初末期、中期两个阶段进行质调节时，初、末期时供暖室外温度 5℃对应的是最小热负荷，任意时刻供暖所需热量计算式为

$$Q_h' = Q_h \frac{18 - t_w}{18 - t_w'} \tag{8-25}$$

式中 Q_h' ——任意时刻供暖所需热量，MW；

Q_h ——供暖设计热负荷，MW；

t_w ——供暖期任意时刻室外温度，℃；

t_w' ——供暖期室外计算温度，℃。

选择 3 台水泵，包括 1 台工频水泵、2 台变频水泵。工频水泵按最大热负荷对应的流量并考虑一定的富裕进行选取。变频水泵单台流量按最小热负荷对应的流量再除以水泵频率调整能力的下限 60%进行选取。变频水泵的流量调节能力一般为 50%～110%。为实现变频器的闭环控制，频率可根据实测压差信号与设定压差值比较来调整，压差信号可根据方便程度接自最不利热用户的供回水管或分集水器的供回水母管上。

5. 热网循环水泵型号

热网循环水泵出入口应设阀门、压力表、软接头，出口应设止回阀。入口回水总管上应安装除污器。热网循环水泵尺寸太大时应考虑检修时的起吊设施和检修场地。

工程中可以选用的热网循环水泵类型见表 8-11。

表 8-11 工程中可以选用的热网循环水泵类型

泵型	介质温度（℃）	工作压力（MPa）	流量范围（t/h）	扬程范围（kPa）
IR 型单级单吸热水离心泵	＜180	0.8	5.4～400	40～800
R 型热水循环泵	＜250	3	14.4～416	340～800
DLR 型立式热水管道泵	＜150	3	4.9～200	216～2390
IRG 型热水循环泵	＜230	3	1.5～160	70～1536

三、凝结水泵及凝结水箱

1. 凝结水泵流量计算

凝结水泵不应少于 2 台，其中 1 台备用，凝结水泵的适用温度应满足介质温度的要求。凝结水泵流量的选取依凝结水泵是否连续工作而定。当凝结水泵连续工作时，每台凝结水泵的流量按 1.1 倍的凝结水流量选取。当凝结水泵间断工作时，每台凝结水泵的流量按 2 倍的凝结水流量选取。

2. 凝结水泵扬程计算

凝结水泵扬程计算式为

$$H=p+p_1+p_2+H_1 \tag{8-26}$$

式中 H ——凝结水泵扬程，kPa；

p ——凝结水接收设备内的工作压力，开式水箱取 0kPa；

p_1 ——管路系统总阻力，kPa；

p_2 ——凝结水箱最低水位至凝结水接收设备进口之间的高差对应的静水压力，kPa；

H_1 ——扬程裕量，一般取 50kPa。

3. 凝结水箱容积

凝结水箱容积计算式见式（2-8）。

四、水处理装置

供热系统中的常用设备还包括水处理装置，它可以实现防垢、防腐、灭藻、过滤等功能。通过改善供暖系统水质，减少系统堵塞概率，减轻设备腐蚀危害，延长供暖系统整体使用寿命，提高整个供暖系统使用的安全性和能源效率。

供暖系统循环水和补水水质的控制主要通过控制以下几个指标来实现，如悬浮物、硬度、碱度、pH值、含氧量等。厂区供暖系统循环水采用的水质可以是除氧软化水、锅炉连续排污水和蒸汽供暖系统凝结水。一般经常采用的是化学专业提供的未经除氧的软化水，因此，本节只介绍在软化水水质基础上应采取的相关水处理。

发电厂厂区供暖系统水处理方式主要采用物理法、化学法或物化法，去除水中较大颗粒物及悬浮物，同时去除水中小颗粒物及溶解物。

1. 去除水中较大颗粒物及悬浮物

（1）较大颗粒物。供热系统施工不规范导致不热的现象时有发生，主要原因是较大直径的颗粒物，如焊渣、铁屑、麻丝（或其他纤维）、细小的碎石、铁锈等进入管道或设备内部。当供暖系统初次投运，若颗粒物本身或粘连后的直径大于阀门或仪表内部流道间隙时就会造成堵塞。因此在加热站、建筑物热力入口上设置不同滤径等级的过滤器是十分必要的。供暖系统在投入运行前必须对系统内设备进行彻底的冲洗。

（2）悬浮物。悬浮物浓度大，在系统流速很低的地方会出现沉积，即污泥。供暖系统流速较慢的地方如系统的低点或立管底部等位置常会出现污泥沉淀，严重时，可能出现局部堵塞。因此控制系统流速、局部加装泄水阀是解决系统局部堵塞的有效手段。有时投加防腐剂或缓蚀剂等也会增加循环水中的悬浮物浓度，有的是固态药剂颗粒本身，有的则是药剂置换产生的不结垢的污泥。降低悬浮物浓度的办法是排污，定期排污是降低悬浮物浓度，避免污泥等悬浮物在内壁沉积的有效手段。

常用的水处理设备选用原则为初级过滤采用除污器，以去除水中泥沙、焊渣等污物，并定期清除。二级过滤可以采用Y形过滤器、T形过滤器、篮式过滤器、反冲洗过滤器、手动或自动刷式过滤器、全自动清洗过滤器、多介质过滤器等。二级过滤器的滤网要比除污器的滤网孔径小，用来过滤系统中更小的固体杂质。

过滤器滤网规格的选择主要是考虑需要拦截杂质的粒径。过滤器本体的材质一般选择与所连接管道的材质相同，根据使用条件的不同可选择铸铁、碳钢、低合金钢或不锈钢材质的过滤器。一般安装在水泵、换热器及重要的电动调节阀门等设备的入口管道上。过滤器两端应设压力表。过滤器选型及过滤精度的选择可参考国家建筑标准设计图集13K704《供暖空气调节水处理设备选用与安装》，过滤器过滤精度宜按如下确定：

（1）水泵进口及换热器进口孔径：≤3mm；

（2）电动调节阀（包括自动控制调节阀）进口宜单独设置Y形过滤器，孔径宜采用2.5mm。

（3）过滤器的安装位置应考虑清理时的操作空间和污水排放位置。

2. 去除水中小颗粒物及溶解物

去除水中小颗粒物主要是实现除氧、缓蚀、除锈、防垢、除垢、杀菌、灭藻中的一种或几种功效。

除氧方法有热力除氧（压力式、大气式、真空式）、化学除氧（铁屑除氧、加药化学药剂除氧）、解析除氧、电化学除氧及除氧树脂除氧等。当对供暖系统使用寿命有较高要求时，厂区供暖系统补水水质考虑设置除氧装置。若不设除氧装置，则可考虑采用自动加药装置控制系统的pH值（25℃）大于10，从而延缓系统腐蚀速度。由于厂区供暖系统失水较少，因此，利用钝化原理延缓腐蚀的方法运行费用相对较少。

水处理设备在招标时，应附上运行期间可能出现的水质情况。常用的水处理设备有电子水处理仪、全程综合水处理器、旁流水处理器等。此类水处理器的选型一般是根据需要的功效类型、处理水量、物化处理方式来选取的。

需要注意的是一些水处理设备的基础往往是三个呈120°角均匀分布在一个圆周上的支墩，这种基础形式布置在实际应用中可能会出现以下两个问题：一是在底部排污管水平段出管方向易受混凝土支墩的影响。二是此种基础形式对现场安装精度要求较高，实际工程中往往由于安装误差大，导致管道很难正好位于水处理器设备基础正上方，出现这种情况时，还要额外增加乙字弯才能解决。同时乙字弯的存在会导致立管上的阀门安装困难。因此建议招标时要求设备基础做成矩形，同时抬高设备本体下方的支座高度，方便施工，简化设计。

五、汽-水换热机组与水-水换热机组

随着集成化工艺水平的提高，出现了集换热器、循环水泵、补水泵、补水箱、仪表、传感器、控制柜等为一体的新型机电化设备智能换热机组。换热机组具有体积小、占地少、安装周期短等特点。当加热站设计热负荷规模较小时，可以采用此种集成装置，各设备间应预留足够的设备元件及阀门仪表检修空间。根据以往的使用经验，当系统容量超过一定规模时，集成设备往往容易忽略各元件的检修空间，造成后期运行维护困难。因此，当供暖加热站负荷规模超过20MW时，不建议采用此类集成化程度较高的装置，选用单体设备分散式布置。表8-12列出了某换热机组系统的主要设备。

表 8-12 换热机组系统的主要设备

系统分类	主要设备
换热系统	高效双纹管端流换热器或板式换热器
循环与定压系统	循环泵和补水泵
仪表系统	温度传感器、压力传感器、压力表、温度计
智能控制系统	变频器、可编程控制器、电控柜
辅助系统	水处理装置、疏水器、补水箱、减振装置等
附件	流量调节阀、安全阀、截止阀、止回阀、软接头等

根据用户对运行管理的程度和经济运行的要求，换热机组的自动化程度有所不同。换热机组控制器通过监测室外温度及管网的压力、温度、流量以及电流、电压、电量等参数，控制一次侧调节阀开度，二次侧循环泵、补水泵转速和运行泵数量等，保证供热效果的同时使得供热运行成本更低。控制方式有：

（1）就地控制。加热端配有电动调节阀，通过对加热端的流量调节来控制被加热端的温度；循环泵配置为手动启停，并与电动调节阀有电气联锁功能；补水泵控制可由系统定压点总压力信号及水箱安全液位信号来实现自动补水。

（2）全自动控制。加热端配有电动调节阀，通过对加热端的流量调节来控制被加热端的温度；具有室外温度补偿功能；循环泵采用变频控制，利用被加热端供回水压差作为反馈信号，对被加热端进行变量控制；补水泵采用变频补水，具有缺水保护功能；控制器能根据程序来自动完成机组的启停及复电后重新启动；换热机组全自动运行，只需人工定期巡检。

（3）智能控制。控制器具有远程通信功能，能够把加热端和被加热端供回水的温度、压力、流量，以及水泵状态、电动调节阀状态、水箱水位信号、变频器的状态等有关数据传送给控制中心，并能够将控制中心的控制指令进行远程通信，实现换热机组的智能化运行。

图 8-21 所示为某工程汽-水换热机组组装。

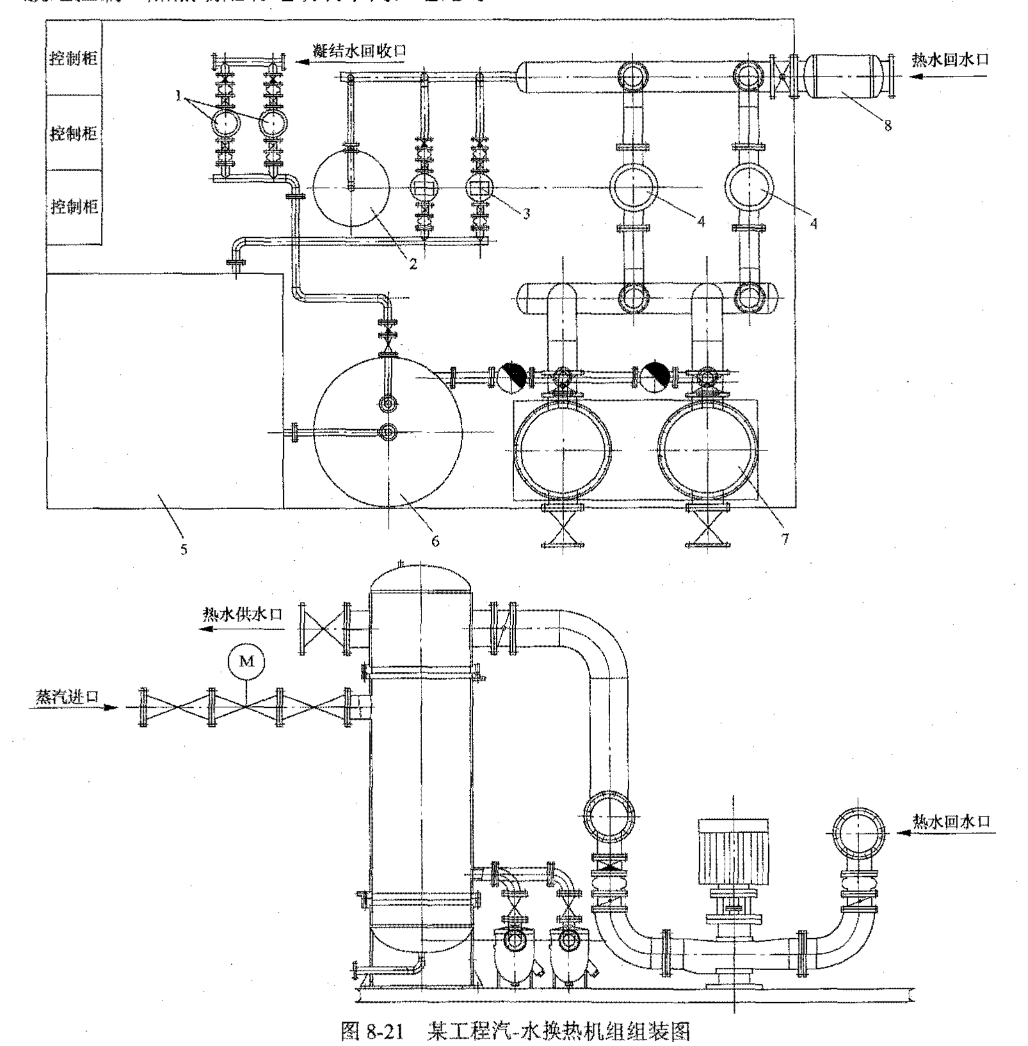


图 8-21 某工程汽-水换热机组组装图

1—凝结水泵；2—稳压罐；3—补水泵；4—循环水泵；5—凝结水箱；6—凝结水罐；7—壳管式汽-水换热器；8—水处理装置

六、混水机组

混水机组适用于发电厂厂前区建筑供暖系统。混水机组的作用就是将高温侧热网供水与低温侧热网回水按一定比例混合以获得热用户所需的供水温度，同时满足热用户供热负荷需求。混水加热系统没有换热方面的热损失，系统阻力较小，水泵电动机功率也相对减少，系统运行电耗有所降低，但此种加热方式对水力平衡的控制要求较高。

混水机组按混水连接形式不同，大致有三种类型：旁通加压型混水机组、供水加压型混水机组和回水加压型混水机组。旁通加压型混水机组使用较多，下面给出这三种类型及选型方法。

1. 旁通加压型混水机组

混水泵旁通加压是应用较多的混水方式。图 8-22 所示为旁通加压型混水机组的原理，只需在高温侧、低温侧连接的供回水管道上增加一个混水回路即可，混水回路上设混水泵、单向阀和调节阀，并在高温侧供水管道上增加调节阀，即可实现混水运行。混水泵数量不应少于两台，其中一台备用。

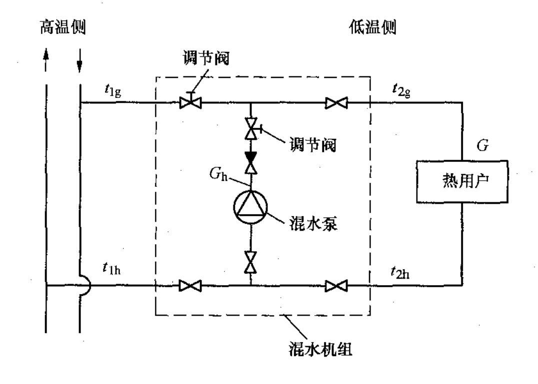


图 8-22　旁通加压型混水机组的原理图

G_h—混水泵流量，m³/h；G—低温侧热用户设计负荷对应的流量，m³/h；t_{1g}—高温侧设计供水温度，℃；t_{2g}—低温侧设计供水温度，℃；t_{1h}—高温侧设计回水温度，℃；t_{2h}—低温侧设计回水温度，℃

混水泵选型时，混水泵流量 G_h 是指混水泵从低温侧回路上抽取的水量与加热端供给的水流量之和。混水泵流量计算式为

$$G_h = 1.1\left(\frac{u}{1+u}\right)G \tag{8-27}$$

$$u = \frac{t_{1g} - t_{2g}}{t_{2g} - t_{2h}} \tag{8-28}$$

式中　u——混水比，即混水泵流量与加热端高温水待混流量之比。

设计举例如下：

【例 8-2】 高温侧设计供水温度 t_{1g}=110℃，低温侧设计供回水温度 t_{2g}=85℃、t_{2h}=60℃，设计热负荷为 500kW，求混水泵的设计流量？

解　先求出满足低温侧供热需求的设计流量，即

$G=0.86Q/\Delta t=0.86Q/(t_{2g}-t_{2h})=0.86\times500/(85-60)$
$=17.2$（m³/h）

然后根据式（8-28）求出设计工况下的混水比，即

$u=(t_{1g}-t_{2g})/(t_{2g}-t_{2h})=(110-85)/(85-60)=1$

再求出混水泵的流量，即

$$G_h = 1.1\left(\frac{u}{1+u}\right)G = 1.1\times0.5\times17.2 = 9.46 \text{（m}^3\text{/h）}$$

表8-13 给出了几种常用的设计供回水温度下混水比选择表，以方便混水泵的流量选型。

表 8-13　常见的混水泵混水比

高温侧设计供水温度 t_{1g}（℃）	85		95		110	
低温侧设计供水温度 t_{2g}（℃）	60	75	85	80	95	85
低温侧设计回水温度 t_{2h}（℃）	50	50	60	60	70	60
混水比 u	2.5	0.4	0.4	0.75	0.6	1

通过表 8-13 可以看出，当高温侧供水温度一定时，低温侧的设计供回水温度越低，混水流量就越大。由于混水比只与温度有关，当高温侧进行质调节或分阶段质调节时，高温侧的供水温度会降低，此时为满足低温侧的设计供回水温度，混水流量会逐渐减少，当高温侧供水温度降低到低温侧设计供水温度时，混水流量为零，混水泵停止工作。

混水泵扬程计算时，扬程大小应满足低温侧系统的总阻力损失，包括水泵、止回阀、管路及热用户损失。混水泵扬程计算式为

$$H=H_1+H_2 \tag{8-29}$$

式中　H_1——低温侧系统管道及用户的总阻力，kPa；
　　H_2——扬程裕量，30～50kPa。

2. 供水加压型混水机组

如图 8-23 所示，供水加压型混水机组用于当低温侧供水压力不足时，需要将混水泵安装在低温侧的供水管上，以提高低温侧的供水压力，并在混水管道上安装调节阀。

混水泵流量 G_h 与低温侧热用户设计负荷对应的流量 G 相等。扬程的计算同旁通加压型混水机组的计算方法，并应留有安全裕量。

3. 回水加压型混水机组

如图 8-24 所示，当低温侧回水压力不足时，可将混水泵安装在低温侧回水管道上，以提高低温侧回水压力，并在混水管道上安装调节阀。

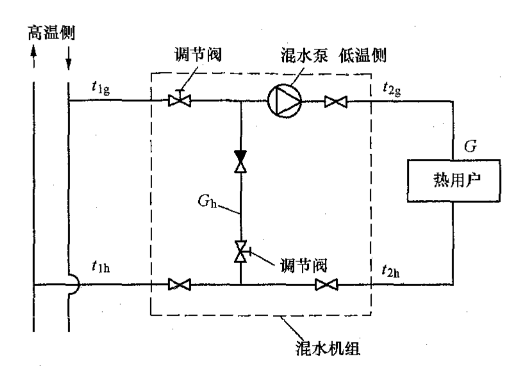


图 8-23 供水加压型混水机组的原理图

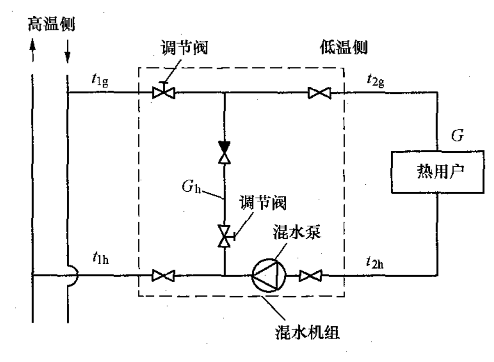


图 8-24 回水加压型混水机组的原理图

混水泵流量 G_h 与低温侧热用户设计负荷对应的流量 G 相等。扬程的计算同旁通加压型混水机组的计算方法。

不同的混水机组厂家工艺上有所差异，调节阀的形式有所不同，可以是电动调节阀、自力式流量控制阀、自力式阻力平衡阀等。

七、水箱

水箱按是否有压分为开式水箱和闭式水箱，按材质分为钢板焊接水箱、不锈钢水箱和玻璃钢水箱等，按加工、安装方法分为整体式水箱与装配式水箱，按使用的用途分为原水箱、膨胀水箱、软化水箱、凝结水箱，按防腐层做法分为热镀锌、搪瓷和内喷涂等。

当采用补水泵对系统进行定压时，补水水箱应明确四个液位：保护补水泵的水箱最低液位、容纳补水量的最高液位、容纳膨胀水量的液位、水箱满水后的溢流液位。

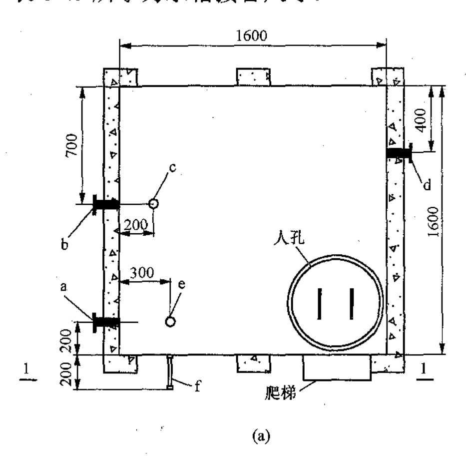
（一）水箱规格

厂区加热站常用的补水水箱是开式常压水箱，用于满足定压补水需求和容纳部分膨胀水量。表 8-14 给出了 0.5～10m^3 钢制水箱的容积，供设计时选用，必要时可参见国家建筑标准设计图集 03R401-2《开式水箱》进行更详细地选取。

表 8-14 钢制水箱的容积配置

序号	公称容积（m^3）	有效容积（m^3）	箱体尺寸（mm）			底部支座（mm）			质量（kg）	钢板厚度（mm）		
			长 L	宽 B	高 H	边距 C	间距 C_1	数量 n		箱顶	箱底	箱壁
1	0.5	0.6	900	900	900	200	500	2	202	4	4	4
2	0.5	0.6	1200	700	900	250	700	2	210	4	4	4
3	1.0	1.0	1100	1100	1100	250	600	2	290	4	5	4
4	1.0	1.1	1400	900	1100	250	900	2	303	4	5	4
5	2.0	2.0	1400	1400	1200	300	800	2	533	4	5	5
6	2.0	2.2	1800	1200	1200	400	1000	2	582	4	5	5
7	3.0	3.1	1600	1600	1400	200	600	3	703	4	5	5
8	3.0	3.4	2000	1400	1400	300	700	3	744	4	5	5
9	4.0	4.2	2000	1600	1500	300	700	3	926	4	5	5
10	4.0	4.2	1800	1800	1500	300	600	3	916	4	5	5
11	5.0	5.0	2400	1600	1500	300	900	3	1036	4	5	5
12	5.0	5.1	2200	1800	1500	300	800	3	1047	4	5	5
13	8.0	8.1	2800	1800	1800	500	900	3	1628	4	6	6
14	8.0	8.3	2600	2000	1800	400	900	3	1642	4	6	6
15	10.0	10.8	3000	2000	2000	300	800	4	1997	4	6	6
16	10.0	11.1	2800	2200	2000	350	700	4	2015	4	6	6

水箱在加工制作时，可根据设计选用国家建筑标准设计图集 03R401-2 和 125101《矩形给水箱》中的规格尺寸与结构进行预制或现场加工。水箱的基本配管应包括出水管、溢流管、通气管、进水管、排水管、液位计。为保证水质，开式水箱应加盖，并留有通气管。图 8-25 所示为公称容积为 $3m^3$ 的开式水箱接管示意，表 8-15 所示为水箱接管尺寸。



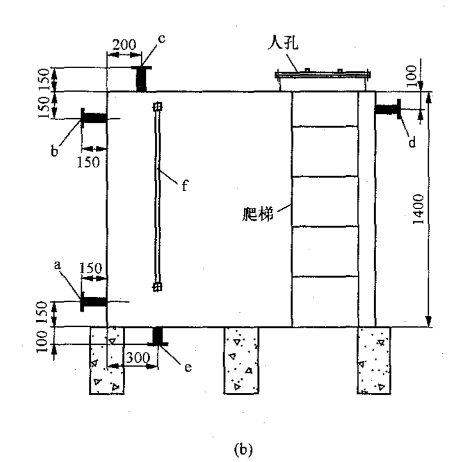


图 8-25　水箱接管示意图

（a）水箱平面；（b）水箱立面

表 8-15　　水 箱 接 管 尺 寸

符号	名称	0.5～$5m^3$ 接管尺寸	8～$10m^3$ 接管尺寸
a	出水管	DN32，PN1.0MPa	DN32，PN1.0MPa
b	溢水管	DN50，PN1.0MPa	DN50，PN1.0MPa
c	通气管	DN32，PN1.0MPa	DN32，PN1.0MPa
d	进水管	DN50，PN1.0MPa	DN50，PN1.0MPa
e	排水管	DN32，PN1.0MPa	DN32，PN1.0MPa
f	液位计	DN20，PN1.0MPa	DN20，PN1.0MPa
g	泄水管	DN40，PN1.0MPa	DN40，PN1.0MPa

（二）水箱按材质分类的常见类型

1. 钢板焊接水箱

一般采用 4～6mm 的钢板焊接制造，但水箱的内外表面应做防腐处理，防腐处理可采用热镀锌钢板、内衬玻璃钢、内衬橡胶或喷涂聚脲弹性体等方法。

供热系统钢板焊接水箱常采用的防腐手段是表面镀锌。镀锌钢板的寿命是普通钢板的 15～30 倍。镀锌钢板水箱常采用热镀锌的 Q235 钢板制作成标准块，进行现场组装，组装时标准块之间采用硅胶密封和热镀锌螺栓等附件连接。

2. 不锈钢水箱

由于不锈钢具有耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质的特点，所以不锈钢水箱表面无需再做防腐处理。需要注意的是不锈钢的种类较多，常用的不锈钢一般为美国材料实验协会（American Society of Testing Materials，ASTM）给出的 304 号不锈钢。当贮水水质为除盐水时，宜采用不锈钢水箱。

3. 玻璃钢水箱

玻璃钢水箱由玻璃钢加工预制而成，质量小。常用材质是 FRP（fiber reinforced plastics，纤维强化塑料）和 SMC（sheet molding compound，片状模塑料），两者都是树脂类的塑料，但 SMC 造价较 FRP 水箱略高。

（三）按加工、安装方法分类的常见类型

1. 整体式水箱

整体式水箱由钢板加工预制而成，有时当水箱体积较大时，水箱内壁还会设置加强肋板。由于此类水箱制作难度大、施工周期长、防腐效果差，逐步被装配式水箱取代。

2. 装配式水箱

装配式水箱采用不锈钢板、玻璃钢板或镀锌钢板等材料经机械冲压成三种标准规格（1m×1m，1m×0.5m，0.5m×0.5m），这种水箱安装简便，便于运输，无需大型吊装设备，不同容积均可现场安装。

（四）水箱液位控制及测量

厂区供暖系统中常见的液位计有玻璃管液位计、磁翻板液位计等。液位计一般安装在水箱侧壁，采用螺纹或法兰连接方式，可以就地指示水位。如需对水位的上下限进行控制和报警，可选用带远传功能的浮球液位控制器、浮筒液位变送器等。一般常用的形式是简易浮球阀来控制水箱最高液位，磁翻板液位计监测水箱最低液位，以保护补水泵。

图 8-26 所示为普通型磁翻板液位计工作示意。磁翻板液位计全称为磁性浮子翻板液位计，旁路管 1 通过法兰或螺纹连接在水箱上，随着容器内液位的上下变化，液位计本体管中的磁钢浮子 4 也随之升降，浮子内的永久磁钢通过磁耦合传递到磁翻柱 3，驱动红、

白磁翻柱翻转 180°，当液位上升时磁翻柱由白色转变为红色，当液位下降时磁翻柱由红色转变为白色，指示器的红白交界处为容器内部液位的实际高度，从而实现液位清晰的指示。

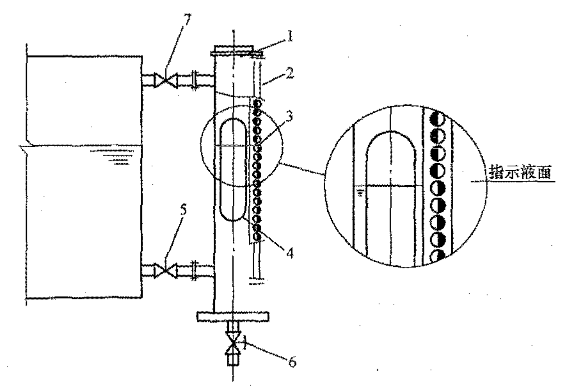


图 8-26 普通型磁翻板液位计工作示意图

1—旁路管；2—液位显示器；3—磁翻柱；4—磁钢浮子；5—通液阀；6—排污阀；7—通气阀

（五）分（集）水器

分（集）水器也称为集管或母管，它是一种利用一定长度、直径较粗的短管，焊上多根并联接口而形成的并联接管设备。供暖系统中设置该设备的目的主要有两个：一是为了便于连接通向各个并联环路的管道；二是均衡压力，使汇集在一起的各个环路具有相同的起始压力或终端压力，确保流量分配均匀。同时，在分（集）水器连接的各环路进出口处设置阀门，为运行操作带来了一定的方便。

厂区供暖加热站分（集）水器一般工作压力不超过 1.6MPa，选用 Q235B 材质。当大于 1.6MPa、小于 2.5MPa 时，选用 20R 或 16MnR。支架安装高度不得超过 1m，支架安装前应进行防腐处理，刷防锈漆两道，外刷面漆。支架一端固定在分水器，另一端采用活动或滑动支架，确保筒体工作状态下的热胀冷缩。

分（集）水器筒体直径可通过式（2-25）计算得到，并参照计算结果，取表 8-16 中的较大者。

考虑各环路在分（集）水器上的接口排序时，应事先对环路的走向及标高进行大致规划，避免从分（集）水器接出管道后，各管道标高之间相互打架，排列无序，既不美观，也使得管道支吊更为麻烦。

表 8-16 分（集）水器筒体直径选择

筒体直径 D（mm）	159	219	273	325	377	426	500
封头高度 h（mm）	65	80	93	106	119	132	150
排污管规格 d（mm）	50						

续表

筒体直径 D（mm）	600	700	800	900	1000
封头高度 h（mm）	175	200	225	250	275
排污管规格 d（mm）	100				

在计算分（集）水器长度时，分（集）水器上各环路接管中心距参见表 2-25，以满足接管装上阀门后，各阀门手轮之间能留有一定的操作空间。

（六）常见问题

（1）有时供暖系统设计未考虑膨胀水量或预留膨胀水量不够，供暖系统投运后，会出现水箱溢流管不断有水溢出的现象。常见原因可能是由于水箱膨胀体积预留不够，导致补水浮球阀的安装位置过高，或浮球阀故障，不断地向系统补水。

（2）厂区供暖系统常用的水箱是开式常压的，使用温度一般在 100℃以下。当采用锅炉连续排污水作为供暖系统上水和补水时，应在水箱招标文件中声明水箱的温度工作范围，同时考虑箱体是否需要保温。

（3）当水箱高度大于或等于 1.5m 时，应设内、外人梯。大于 1.8m 时，玻璃管液位计可设置 2 个或多个。水箱上附件如人孔、内外人梯、液位计等位置可根据具体情况调整。

第五节 供暖加热站的布置

一、厂区供暖加热站独立设置的必要性

1. 热电厂厂区供暖加热站不宜采用供热一次网热水作为加热热源

目前，集中供热一次网的设计参数仍然沿用苏联的设计习惯，一般为供回水设计温度 130/70℃左右，供回水压力（1.2～1.5）/（0.2～0.3）MPa。虽然一次网的设计温度作为厂区供暖加热站的热端加热热源比较适宜，可以利用水-水换热机组制备 110/60℃左右的热水作为厂区建筑供暖的热媒，但在实际运行中会遇到以下几个问题：

（1）运行时间不同步。一次网运行时间的影响对于新建热电厂来说尤为突出。建厂初期，厂区内建筑全部或者部分先期建成，一次网供热管线及用户建筑往往滞后建设甚至是分期建设，形成了建设初期只有厂内建筑供热负荷，没有厂外负荷送出的临时状况，这种过渡局面一般会持续 1～2 个供暖季。在这个过渡期间内，供暖加热站无法使用一次网作为加热热源，只能采用备用热源。备用热源可采用燃煤热水锅炉，但单独为

加热站配备热水锅炉投资高，系统复杂，且锅炉运行时间仅为1～2年，一次网建成后便无需继续投入使用。

（2）一次网实际供水温度过低。一次网供回水设计温度一般为130/70℃，运行调节方式为分阶段改变流量的质调节，供回水温度将阶段性地按照质调节温度曲线作调整，所以即便是在设计热负荷条件下，一次网供回水温度在整个供暖季也一直处于各个阶段的渐变之中。同时，由于热网规划热负荷经常大于甚至远远大于实际热负荷，实际运行时只有减小一次网供回水温差，实际流量才能与设计工况的管网输配能力趋于匹配。基于以上两个原因，绝大多数热电厂一次网运行温度通常在90/70℃附近徘徊。90/70℃热水向居民住宅或公共建筑供暖是可行的，但火力发电厂工业建筑厂房高大且密闭性差，冷风渗透严重，供暖热负荷相对较大，这个温度经换热后更加不适于向工业建筑供暖。尤其是寒冷地区或严寒地区，后果更为突出。只有高温水热媒才能保证厂区建筑供暖效果，因此采用一次网热水作为加热热源是不合理的。

2. 热电厂厂区供暖系统不应与集中供热一次网直接连接

如果将集中供热一次网直接作为厂区建筑供暖热媒，除了供回水实际运行温度较低和初期运行时间不同步外，从系统压力、水质、温度调节、实际运行温度及节能等各方面来分析，对一次网或厂区供暖管网都存在不利因素，分析原因如下：

（1）厂区供暖系统静水压线无法保持。集中供热一次网系统常用的有两种定压方式：旁通管定压和补水泵定压。采用旁通管定压时，只有当一次网的静水压力值高于厂区热网所需的静水压力值时，才能满足厂区热网的静压要求。否则，供暖季过后厂区内建筑供暖系统会出现倒空现象。采用补水泵定压时，由于一次网连接的热网用户都是间接连接，一次网静水压力值较低，比厂区热网所需的静水压力值低0.15～0.25MPa，所以当一次网停运时，厂区供暖系统静水压线无法保持，系统会出现倒空现象。

（2）压力节流浪费能源。图8-27所示为利用一次网热水作为厂区供暖热源的水压示意。假设厂区内供暖热网流量250t/h，在一次热网循环泵的作用下，250t/h热水的出口压力将首先提升至一次网的供水压力1.2MPa，再被强制减压至厂区内供暖热网的供水压力0.8MPa左右。经过厂区内供暖管网供回水管及热用户的循环后，回水压力降至0.4MPa左右。厂区热网回水管需经再一次减压至稍高于与一次网直连点的压力值后，回至一次网。整个循环过程中，250t/h的循环水经无效提压0.6MPa，消耗的电能约为56kW。一次网循环水泵对250t/h水所做的这56kW是无用功，需要被节流降压。

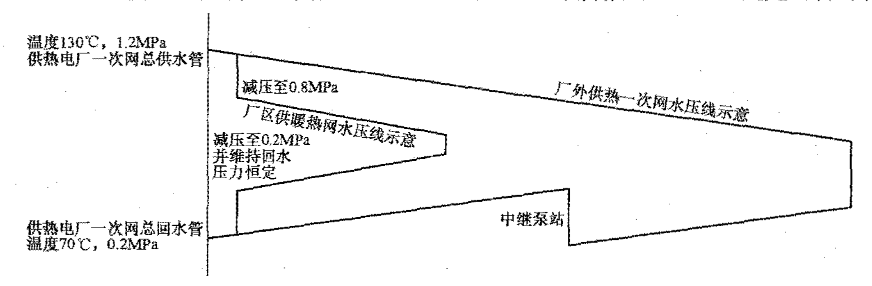


图8-27 利用一次网热水作为厂区供暖热源的水压示意图

（3）末端用户多，失水量大。厂区内建筑多达数十个，每个建筑若都与一次网直连，热用户多，失水量也就多，会造成一次网补水量增加。

目前，很多业主提出选用厂区供暖与一次网直连方案并已经在多个电厂得到实施，问题没有显现的原因主要有两个：一是目前一次网运行的供水温度较低，一般在90℃左右，压力降低也不会汽化，但是一旦按照设计工况运行，就会出现汽化问题；二是新建电厂短时间内不会显现出一次网停运带来的厂区供暖系统倒空的弊端，但是经过2～3个供暖季之后，倒空带来的系统内空气增多、管道氧化及锈蚀问题就会凸显。

3. 厂外建筑热负荷较大时宜与厂内建筑分别设置加热站

当火力发电厂附近的煤矿区或生活区需要厂内提供供暖热源，且输送距离远或负荷较大时，煤矿区或生活区应设置独立的加热站，系统灵活便于调节。

二、供暖加热站的位置

厂区建筑供暖加热站宜布置在热负荷最集中的建筑即主厂房。供暖加热站在主厂房中的位置宜尽量靠近厂区综合管架的出口方向，以方便厂区供暖供回水管道布置。汽机房*B-C*排零米层或夹层、头部转运站下部区域、锅炉房零米、控制楼零米或汽机房毗屋等都是比较常见的布置厂区供暖加热站的区域。

图8-28和图8-29所示为两个供暖加热站布置位置的案例。图8-28所示为某油田自备电厂锅炉房零米供暖加热站布置示意，该工程主厂房和运煤建筑的供暖热媒为0.4MPa蒸汽供暖，其他辅助建筑为95/70℃的热水。壳管式换热器、热水循环泵、补水箱及补水定压装置采用分散式布置，供热站紧邻厂区供热管网。

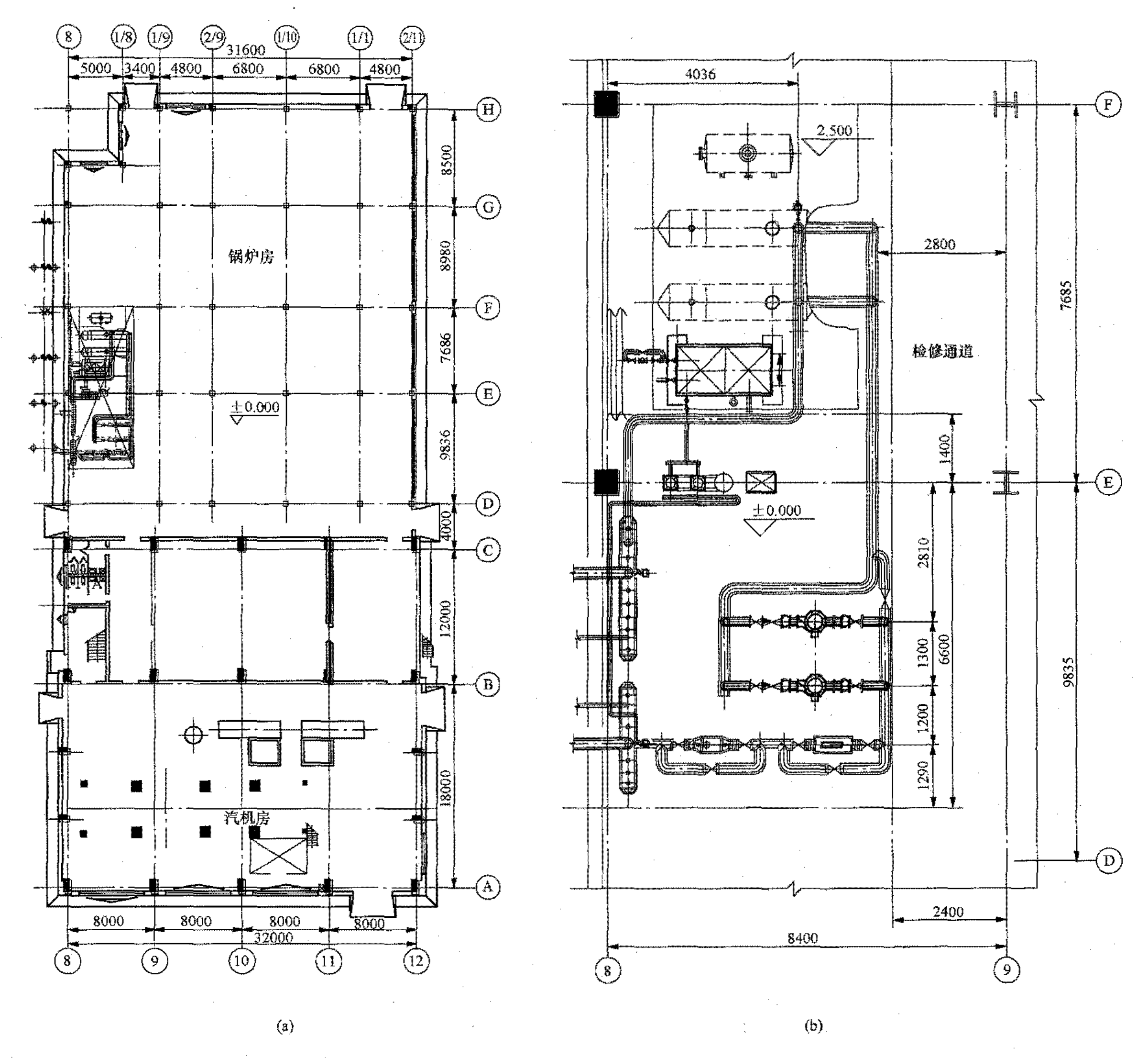


图 8-28 锅炉房零米供暖加热站布置示意图
（a）供暖加热站在主厂房的位置；（b）供暖加热站平面布置

图 8-29 所示为某 2×600MW 机组主厂房头部转运站下部区域供暖加热站布置示意，本工程主厂房和运煤建筑的供暖热媒为 0.4MPa 蒸汽，其他辅助建筑为 95/70℃的热水。图 8-29 中±0.000m 层布置为集控楼和厂外辅助建筑服务的供暖分水器和集水器，17.000m 层布置分汽缸和汽-水换热机组。图 8-29（b）为供热站与厂区供热管网的接口。

三、供暖加热站设备布置注意事项

1. 供暖加热站的总体布置

（1）供暖加热站可根据设备重量、安装位置及通道的状况，考虑是否设置必要的设备安装及检修的起吊装置。起重量小于 0.5t 时，可设移动吊架或固定吊钩；起重量为 0.5～2.0t 时，可设手动单轨或单梁吊车；起重量大于 2.0t 时，宜设手动或电动桥式起重机。

（2）供暖加热站净高度要满足起吊空间及工艺要求。设置在主厂房内的供热站一般都能满足净空高度，当供热站为独立建筑或为房中房时，其净空不宜小于 4.0m。同时应考虑起重设备的需要，当采用单轨、单梁、桥式吊车时，应保持吊起物底部与吊运所越过的物体顶部之间有 0.5m 以上的净距，采用桥式吊车时还应考虑吊车安装和检修的需要。

（3）供暖加热站应留检修场地，设置在主厂房中的加热站可以与厂房共用检修场地。双层布置的供热站应考虑设备搬运与检修安装所需的孔洞。

（4）供暖加热站一般为混凝土地面，地面宜有排水坡度，换热器、水泵、分（集）水器或分汽缸、水

箱等周围应设置排水沟或地漏。墙面需粉刷或油漆，要有照明设施。

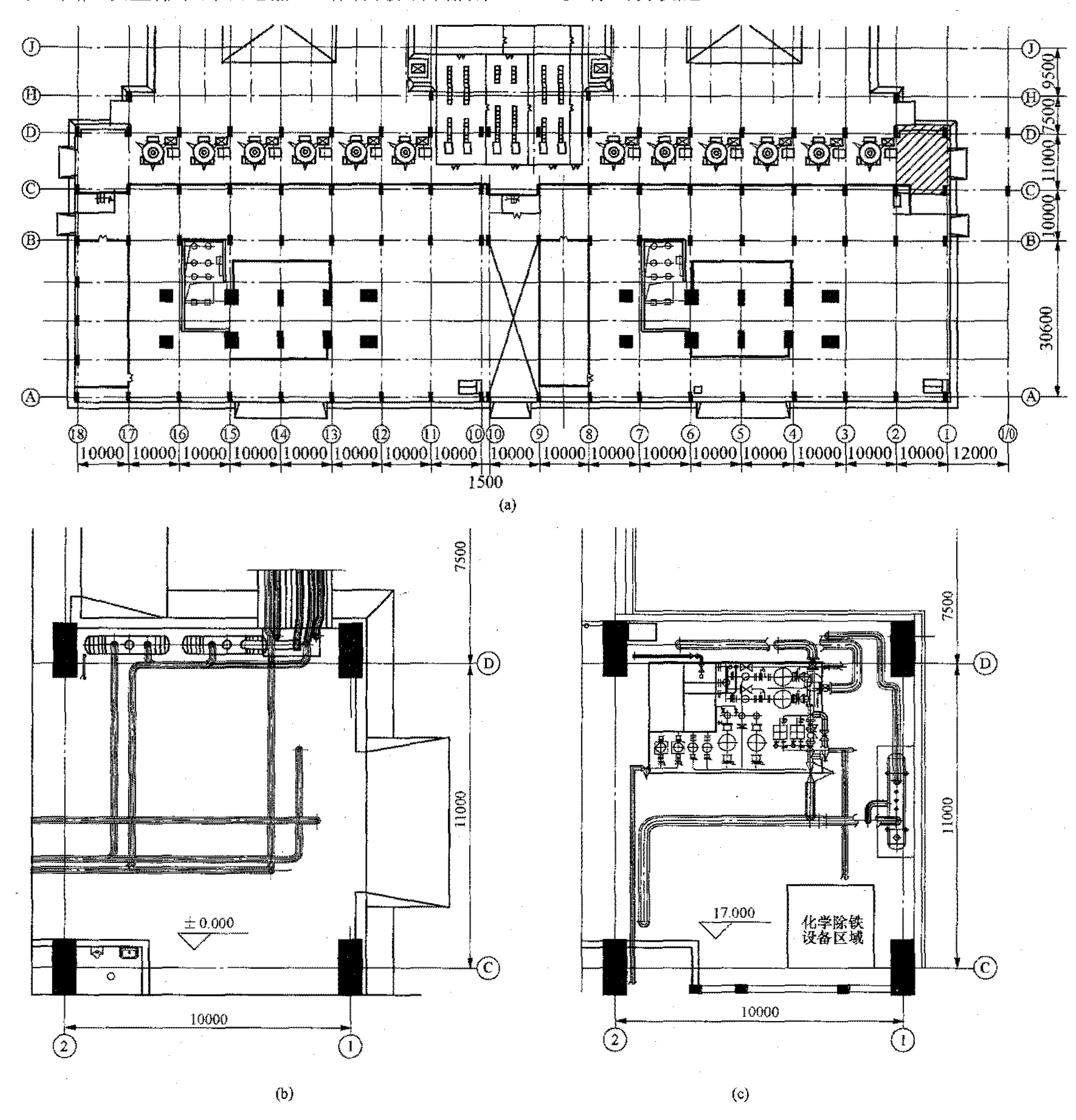


图 8-29 主厂房头部转运站下部区域供暖加热站布置示意图

（a）供暖加热站在主厂房的位置；（b）供暖加热站零米平面；（c）供暖加热站 17.000m 平面

（5）供暖加热站宜有良好的通风散热条件，当自然通风方式不能满足排热通风要求时，应设置机械通风装置。

2. 换热器的安装

（1）壳管式换热器的前端应留有满足检修时抽管所需的空地，只能设置一个固定支座，并布置在抽管段端部。

（2）板式换热器需要留出足够的加片位置，侧面应留有维修拆卸板片垫圈的空间，设备运行操作通道不宜小于 0.8m。

（3）并联工作的换热器宜按照同程连接设计。

（4）换热器加热和被加热两侧进、出口母管上应设总阀门，每台换热器两侧进、出口宜设关断阀。

（5）汽-水换热器的蒸汽压力高于汽-水换热器承压能力时，应设减温减压装置。

（6）壳管式换热器被加热水的壳程应设置安全阀。

3. 水泵的安装

（1）水泵安装布置时，水泵基础应高出地面 0.15m 以上，水泵基础距墙边不小于 0.7m。当空间狭窄，且电动机功率不大于 20kW 或进水管管径不大于 100mm 时，两台水泵可共用基础，水泵和电动机突出部分净距不应小于 0.5m。多于两台水泵则不能共

用基础。

（2）热网循环水泵宜布置在热交换器的进水侧。

（3）循环水泵进出口侧的母管之间应设置旁通阀，旁通管管径宜与母管相近，当布置有困难时，可选择较小管径，但其最小截面积不得小于母管截面积的1/2。旁通管上安装止回阀，止回阀的方向是在水泵停运时，进水母管中的水能流向出水侧母管。

（4）热网循环水泵、补给水泵和换热器的凝结水泵出、入口应安装阀门和软接头，并在出口侧安装止回阀。

（5）凝结水泵与凝结水箱的安装高差应保证凝结水泵入口压力满足其汽蚀余量。

（6）水泵二次灌浆孔尺寸不宜少于120mm×120mm。

4. 分（集）水器的安装

（1）当热水或蒸汽分支管路多于3根时，应采用分（集）水器或分汽缸连接。

（2）分（集）水器上的总供、回水管和厂区供暖的总供、回水管管径较大，在主厂房内布置时应注意供暖管道与钢柱或钢梁之间节点板的位置关系。

（3）分（集）水器的总供、回水管应装设关断阀，各分支供、回水管上应设置自动流量调节阀，还应配置安全阀、排污阀及温度计、压力表等附件。

5. 供热站内工艺管道设计

（1）加热介质在进入供热站的入口总管上应设置电动调节阀、关断阀、流量计等，必要时可安装热量计。调节阀根据被加热水的供水温度调节加热介质的流量。

（2）当加热介质工作压力高于供热站设备的承压能力时，在入口总管上应设置减压阀，减压阀后配置安全阀，安全阀泄压管出口应引至安全放散点。

（3）进入循环水泵前的回水管应设置过滤器，过滤器前后设置关断阀和旁通阀。

（4）水管系统的安全阀应选用微启式弹簧安全阀，蒸汽系统应采用全启式弹簧安全阀。

（5）分汽缸底部、汽水换热器凝结水管出口、过热蒸汽管路的最低点应设置经常性疏水器。

（6）热水管道高点设自动排气阀，低点设置排污阀。

（7）站内各种设备和阀门的布置应保证便于操作和检修，各设备间的检修通道不应少于0.8m。位置较高且需要经常操作的设备应设置操作平台、扶手和防护栏杆等设施。

（8）管道与设备连接时，管道上宜设支架或吊架，以减小加在设备上的管道负荷。加热站内架设的管道不得阻挡通道，不得跨越配电盘、仪表柜等设备。热管道应考虑热力补偿，并设置支吊架。

（9）供暖加热站工艺系统应设置热工检测仪表和热工控制仪表。就地仪表应便于运行人员观察。

（10）蒸汽管、凝结水管以及大于DN50的热水管、补水管等应采用无缝钢管，采用焊接或法兰连接方式。小于或等于DN50的热水管和补水管可采用焊接钢管，螺纹连接。

第六节 供暖热水加热系统的控制

一、供暖热水加热系统自动监控的目的

厂区供暖加热站宜设置自动监控系统。自动监控的目的是及时了解并掌握供暖热水加热系统的参数与运行工况，便于管理；及时对系统参数作出调整，匹配热量，按需供热，节能降耗；及时发现故障，确保运行安全；利于建立运行档案，实行量化管理；利于实现减员增效。

二、供暖热水加热系统监控的内容

火力发电厂供暖热水加热系统的监控应与全厂工艺专业总体控制水平相适应。集中监控系统应具有远程或就地监控功能，并设置必要的就地仪表，备用设备应能自动投入运行。当采用就地控制方式时，应在供暖加热站设置就地控制柜实现集中监控，内容应包括系统运行参数、设备运行状态、自动调节与控制、工况自动转换、联锁保护与报警等。当火力发电厂内设置暖通自动控制中心时，除了设置就地控制柜以外，应在暖通控制中心实现以上各项远程监控功能以及中央监控与管理等。供热系统惰性大、参数变化缓慢、滞后时间长，所以供暖加热站适合于以先进的信息技术实现系统管理，趋于集成化、自动化和智能化。

自动监控的内容包括系统参数检测、设备状态及故障显示、设备联锁及自动保护、自动调节与控制、工况自动切换、数据存储及计算、监控与管理等。

三、供暖热水加热系统自动监控

供暖加热站的控制系统主要由数据采集控制部分、循环水泵控制部分和补水定压控制部分等组成，通过热工检测仪表测量蒸汽和热水的温度、压力、流量等信号，按照预先设定的控制算法及控制方式完成对蒸汽（热水）电动两通阀、热网循环泵及补水泵的控制，以达到加热站安全、可靠、经济运行。

供暖热水加热系统需监视及控制以下参数：

1. 加热蒸汽（热水）系统

（1）蒸汽（或热水）温度、压力及超温超压报警。

（2）冷凝水压力、温度。

（3）蒸汽（热水）电动调节阀的控制及反馈信号。

（4）汽-水（水-水）换热器的水位、出口凝结水温度。

（5）蒸汽（热水）总流量（热量计）。

（6）总供热量（软件计算或热量计给出）。

2. 被加热水系统

（1）供暖供回水温度、压力、流量。

（2）根据供水温度及室外温度，控制加热蒸汽（热水）管上的电动调节阀开度。

（3）循环水泵的启停、运行状态显示和故障状态报警。

（4）循环水泵的手动/自动转换开关状态。

（5）过滤器压差及超压报警。

3. 补水系统

（1）补水泵的启停、运行状态显示和故障状态报警。

（2）补水泵的手动/自动转换开关状态。

（3）补水箱液位状态（超高、高、低、超低）及报警。

（4）过滤器压差及超压报警。

（5）水处理设备的启停、运行状态显示和故障状态报警。

（6）水处理设备的手动/自动转换开关状态。

4. 凝结水系统参数

（1）凝结水泵的启停、运行状态显示和故障状态报警。

（2）凝结水泵的手动/自动转换开关状态。

（3）凝结水箱液位状态（超高、高、低、超低）及报警。

（4）凝结水箱液位控制凝结水泵的启停。

供暖热水加热系统可以根据用户需要制定控制需求清单，表 8-17 列出了一些常见的控制方案，用户可根据需求选用或自定义。

表 8-17　换热机组控制方案选用

控制参数	热媒种类																				
	蒸汽													热水							
热量自动计量	√	√	√	√										√	√						
室外温度测量	√	√	√	√	√	√	√	√						√	√	√	√				
标准间温度测量	√	√	√	√	√	√	√	√						√	√	√	√				
供水温度智能控制（工控机控制）	√	√			√	√								√		√					
供水温度智能控制（智能调节器）			√	√			√	√							√		√				
供水温度恒温控制（电动调节阀）											√	√								√	
供水温度恒温控制（自力式温控阀）									√	√			√					√	√		√
存储、显示、打印	√	√	√	√	√	√	√	√						√	√	√	√				
冷凝水温度自动控制	√		√		√		√														
运行参数集中显示	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√			√	√	√	√	√			
循环水泵变频控制	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√	√	√	√	√	√		
补水泵变频或定频控制	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

注　√表示对应方案所选择的测控参数。一列为一个方案。

四、供暖加热站系统监控图

供暖汽-水加热站系统监控如图 8-30 所示，供暖水-水加热站系统监控如图 8-31 所示。

五、厂区供暖热网的调节方式

火力发电厂厂区供暖系统可采用质调节或分阶段改变流量的质调节方式。由于厂区热水管网规模

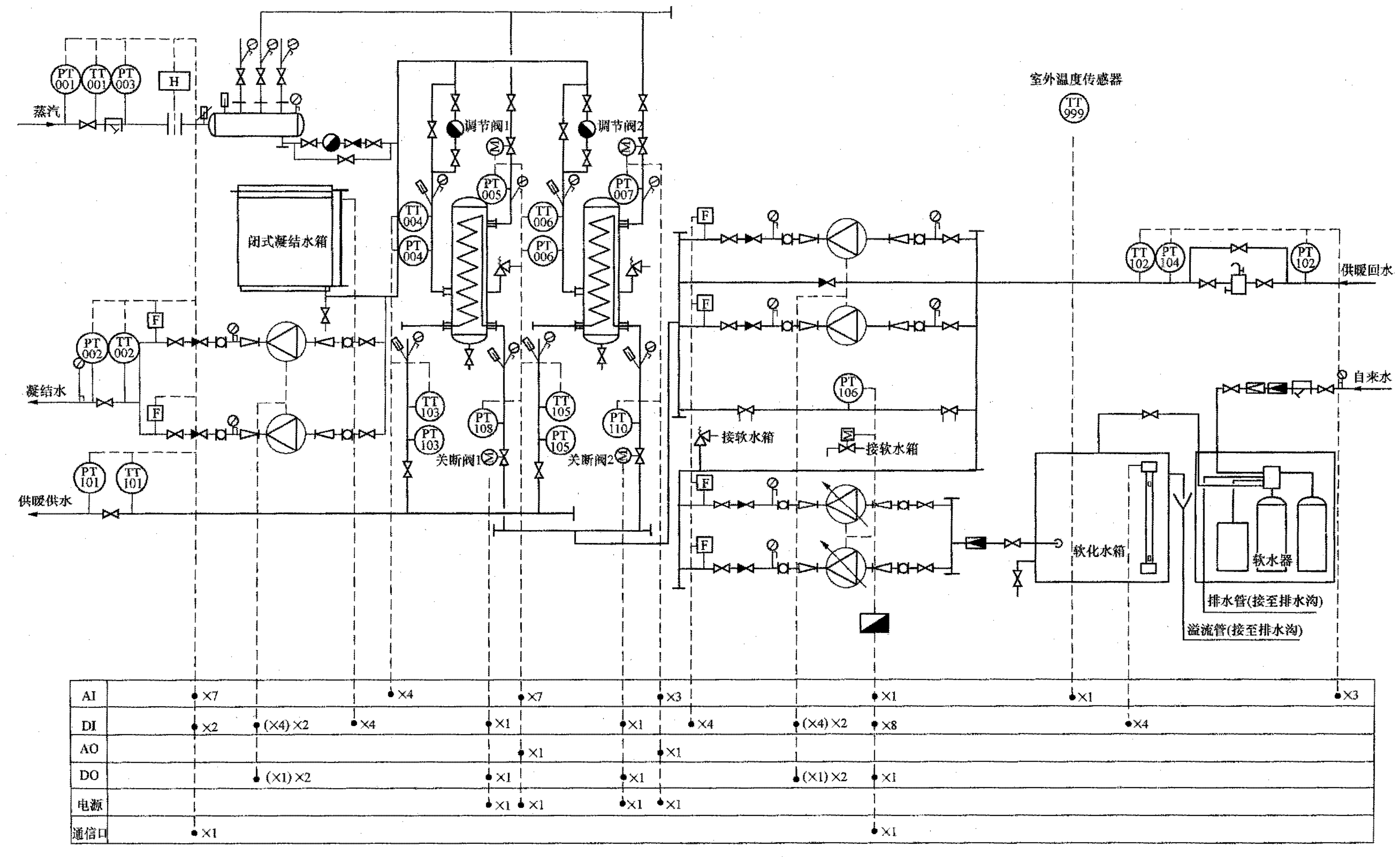


图 8-30　供暖汽-水加热站系统监控图

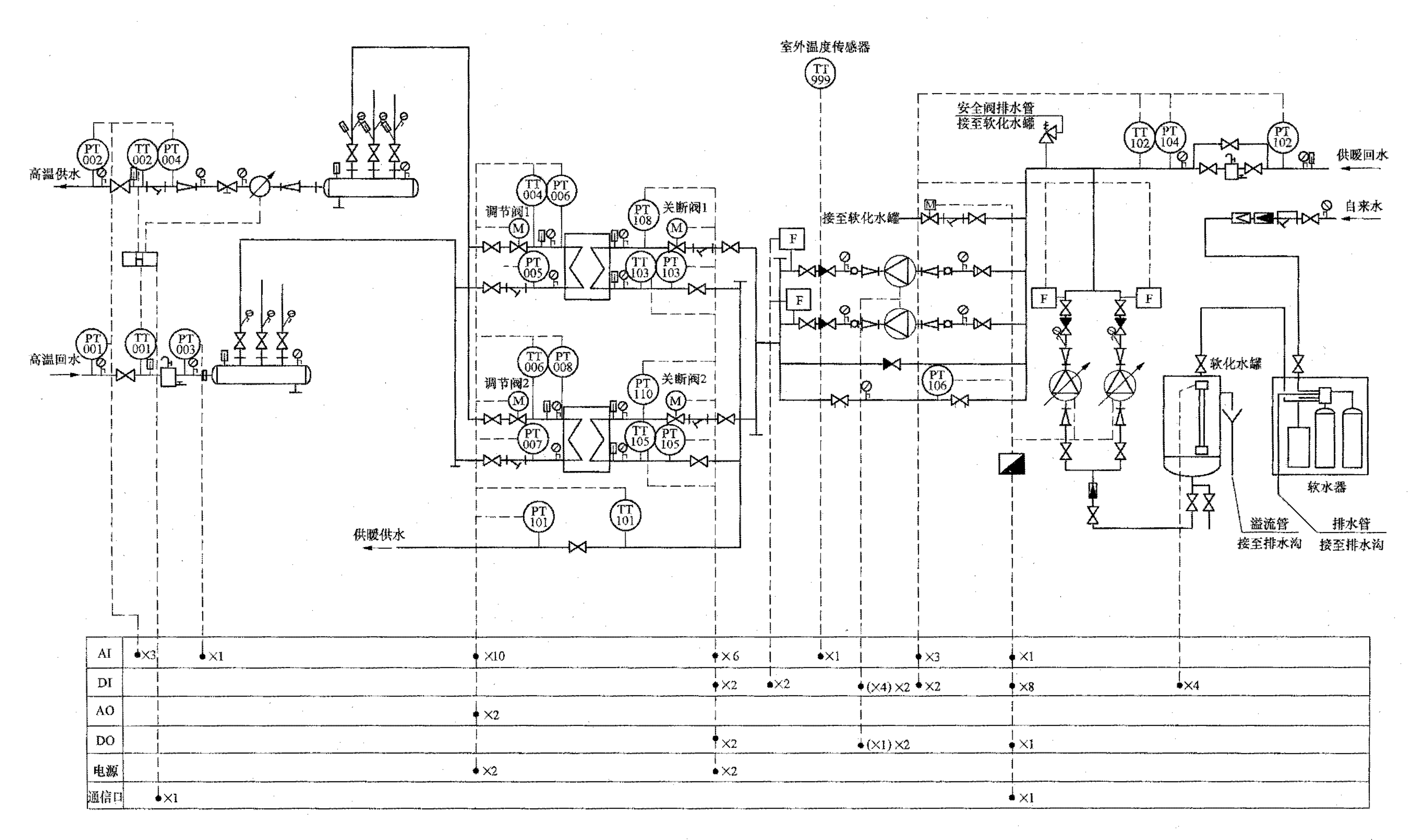


图 8-31　供暖水-水加热站系统监控图

较小，质调节是比较常用的方式。当供暖负荷较大或供暖期比较长时，也可采用分阶段改变流量的质调节方式。

（一）质调节

质调节是只改变热水管网的供水温度，而循环水量保持不变的调节，是火力发电厂热水管网常见的调节方式。调节过程如下：

（1）检测热水供回水温度和室外温度，自动调节蒸汽电动调节阀的开度。按照控制器内设定的经济运行的温度曲线，自动调节热水供水温度或供回水平均温度。

（2）对热水系统的温度检测和分析，结合室外温度，计算最佳的供水温度。

（3）对蒸汽（高温侧热水）的流量控制，使加热系统在供暖需求的前提下保持最佳工况。蒸汽的流量控制有两种：一种是调节蒸汽的流量调节阀；另一种是调节凝结水的阀门控制换热器的液位高度，从而控制换热器参与换热的面积。

在供暖系统中，供暖热负荷的计算是以建筑物耗热量为依据的，其中室外温度起决定作用。由于供热系统热惰性大，属于大滞后系统，电动调节阀适合采样调节及间歇性调节，电动阀不连续调节，避免产生振荡造成被调参数上下波动。

质调节只需在热源处改变热水管网的供水温度，运行管理简便。在整个供暖期中热水管网循环水量保持不变，水力工况稳定。当厂区建筑有通风负荷时，供水温度不宜调得过低，以免通风系统的送风温度过低产生吹冷风的不舒适感。

（二）分阶段改变流量的质调节

分阶段改变流量的质调节是在供暖期中按照室外温度高低分成几个阶段，在室外温度较低的阶段中，保持设计最大流量；而在室外温度较高的阶段中，保持较小的流量。在每一阶段内，管网的循环水量相对不变，按照改变管网供水温度的质调节进行供热调节。

循环水泵有多种匹配方式。可选用两台 100%设计流量的循环水泵，一台工频一台变频；也可选择一台 100%设计流量的工频水泵，两台 50%设计流量的变频水泵；还可以选择一台 100%设计流量的循环水泵，两台 70%～80%设计流量的循环水泵，三台均为工频水泵。由于水泵的扬程与流量的平方成正比，水泵的电功率与流量的立方成正比，节约电能效果显著，可以做到热能的合理分配和电能的优化利用。

六、供暖加热站控制系统

供暖加热站的控制系统是由可编程控制器和触摸屏组成控制单元，模块化组成，实用性、通用性和灵活性较强。

1. 循环水泵控制系统

火力发电厂供暖加热站循环水泵控制方式有两种：

（1）循环水泵工频启动。循环水泵控制主要由空气开关及接触器组成，不设置任何调速装置，直接以 50Hz 频率运行，按设计流量运行。

（2）循环水泵变频启动。当采用变频水泵时，循环水泵控制主要由变频器、空气开关及接触器组成，变频器根据压差信号或温差信号调整水泵电动机频率，使得水泵流量与系统所需流量相匹配。

2. 补水泵控制系统

加热站的补水控制主要以回水压力为控制参考值，保持其在设定范围内。当系统需要补水压力达到设定的启泵压力 p_1 和停泵压力 p_2 时，依次完成补水泵启动和补水泵停泵的动作。当系统水受热膨胀或发生堵塞继续升压至电磁阀开启压力 p_3、安全阀开启压力 p_4 时，依次电磁阀打开、安全阀打开，保证系统压力在安全范围之内。上述压力的取值参见本章第三节。

控制系统由压力变送器、变频器、远程控制终端、电动机保护空气开关、交流接触器等组成。控制方式可为补水变频定压控制，通过压力传感器采集回水压力的实时信号作为反馈，根据与设定值的偏差进行 PID 运算，控制变频器运行，从而调节水泵的转速，确保了系统回水恒压运行，完成闭环控制。

3. 其他控制要求

（1）对于两台换热器并联使用的机组，当一台换热器换热量满足加热负荷时，先投入运行的换热器自动切除，另一台换热器投入工作，两台换热器互为备用，定时切换；当供热负荷继续增加时，需要两台换热器同时投入。

（2）当循环泵全部停止或系统断电时，蒸汽调节阀自动关闭，以防止对换热器的汽蚀。

（3）供暖加热站控制系统应做到停电保护，来电自启。当供热站停电时能够自动关闭电动调节阀以防止换热器汽蚀和防止能源流失，来电后供暖加热站控制系统能够延时自动按顺序启动运行。

（4）回水压力控制补水泵，实现恒压补水。超压时泄水阀开启泄压，回水压力低于警戒值时停止循环泵，等压力恢复时，自动投入运行。

（5）水箱低限液位时报警并停止补水泵运行，水箱液位恢复后自动投入运行。

（6）循环水泵及补水泵具有故障跨越功能，供暖加热站控制系统具备变频故障自动恢复功能。当变频

器出现故障时，停止水泵。延时一段时间后，供暖加热站控制系统能够自动重启变频器。当再次出现故障时，停止变频器，并报警指示。

七、主要监控元件

1. 传感器

温度传感器测量范围宜为测点温度范围的 1.2～1.5 倍，温度传感器测量范围和精度应与二次仪表匹配，并高于工艺要求的控制和测量精度。供回水温差的两个温度传感器应成对使用，且温度偏差系统应同为正或负。

压力（压差）传感器的工作压力（压差）应大于该点可能出现的最大压力（压差）的 1.5 倍，量程宜为该点压力（压差）正常变化范围的 1.2～1.3 倍。

流量传感器量程宜为系统最大工作量的 1.2～1.3 倍，应选用具有瞬间值输出且水流阻力低的传感器，暖通专业在布置管道时应预留一定长度的直管段，以满足设备检测精度的要求。

传感器的选用原则及主要类型参见第三章第五节的内容。

2. 蒸汽两通阀

蒸汽两通阀的流量特性应根据调节对象特性和阀权度选择。阀权度是调节阀全开时的压力损失与所在串联支路的总压力损失的比值。当蒸汽两通阀的阀权度大于或等于 0.6 时，宜采用线性特性的阀门；当阀权度小于 0.6 时，宜采用等百分比特性的阀门。蒸汽两通阀应采用单座阀，阀门口径应该根据要求的通流能力 K_v 计算确定。蒸汽两通阀流通能力 K_v 的计算参见第三章第五节的内容。

根据流通能力 K_v 选择蒸汽两通阀，可参考表 8-18 所列国产直通单座调节阀主要参数。

表 8-18　国产两通单座调节阀主要参数

公称直径（mm）	阀座直径 D_g（mm）	额定流通能力 K_v	最大行程 L（mm）	薄膜有效面积 A_e（cm^2）	流量特性	公称压力（MPa）	允许压差（MPa）
DN20	10 12 15 20	1.2 2 3.2 5	10	280	直线、等百分比	PN1.6、PN4.0、PN6.4	≥1.35
DN25	26	8	16	280			0.8
DN32	32	12					0.55
DN40	40	20	25	400			0.5
DN50	50	32					0.3
DN65	66	50	40	630			0.3
DN80	80	80	40	630	直线、等百分比	PN1.6、PN4.0、PN6.4	0.2
DN100	100	120					0.12
DN125	125	200	60	1000			0.12
DN150	150	280					0.08
DN200	200	450					0.05
DN250	250	700	100	1600			0.05
DN300	300	1100					0.035

3. 就地测量元件的安装

就地测量元件应安装在易观察、检修和操作处，同时应设在不受局部热源影响、空气流通的地点，不应装设在经常开启的门旁。

第七节　供暖热水加热系统的安全措施

一、预防热网循环水泵入口承压过高的措施

在大多数水泵生产厂家样本、说明书或设备铭牌上，只标明水泵的流量、扬程、转速、功率、汽蚀余量等参数，却不标明水泵入口承压的限制，设计往往对热网循环水泵入口承压问题也不重视。

近几年来，曾多次出现泵壳破裂、减振基础板向电动机方向移动、爪形联轴器内的橡胶被挤碎、运行电流高、噪声大以及水泵达不到额定出力等事故。上述现象大多发生在热网循环水泵入口承压较高的供热系统中，而且损坏的水泵以 IS 型水泵为多。经分析，事故原因主要是热网循环水泵入口静压过大，超过了热网循环水泵入口允许承受的压力。

水泵的最高工作压力是指水泵出口处所能承受的最高压力，它与水泵入口承受的压力是不同的，出口承压要比入口承压要大。GB/T 5657—2013《离心泵技术条件（Ⅲ）类》中规定，单级单吸清水泵的最高工作压力不大于 1.6MPa，吸入口压力不大于 0.3MPa。

预防热网循环水泵入口承压过高的措施有：

（1）凡是定压点压力值大于 0.3MPa 的供热系统，不应选择 IS 型清水离心水泵作为热网循环水泵。

（2）当所选用的热网循环水泵入口承压参数不详时，应向水泵生产厂家认真核实。

（3）当所选的水泵入口承压不能满足系统要求而又不能用其他泵型代替时，应与厂家联系特殊加工制造。

（4）从目前已知的厂家资料来看，能满足供热系统循环水泵入口承压要求的水泵类型有以下几种：R系列热水泵、HPK系列热水泵、ISG系列热水泵、IRG系列热水泵等。

二、预防水击的措施

在以水为热媒的供热系统中，由于突然停电或其他原因造成的突然停泵，会使管道内正在流动的水突然失去动力，致使原来以一定流速流动的动能转变为压力能，并使循环水泵吸水侧管路中的水压急剧增高，产生水击现象。

由于水击而产生的压力计算式为

$$p_{max}=\frac{10av}{g} \tag{8-30}$$

其中 $$a=\frac{1466}{\sqrt{1+\frac{K}{E}\times\frac{d_n}{s}}}$$

式中 p_{max}——由于水击而产生的压力，kPa；

a——冲击波传播速度，m/s；

v——水击发生前管道内正常流速，m/s；

g——重力加速度，取 9.81m/s^2；

K——水的位移弹性模量，N/m^2；

E——管材的弹性模量，N/m^2；

d_n——管道内径，m；

s——管道壁厚，m。

对于钢管材，$K/E=0.01$；对于铸铁管材，$K/E=0.02$；对于水泥管材，$K/E=0.1$。

假定有一供热系统，热网循环水泵入口处的主管管径为$\phi325$，发生水击前的流速为1.0m/s，则水击发生时产生的压力约为1.25MPa。可见，供热系统因水击产生的压力是很大的，实际运行经验表明，水击发生会使供热系统管道剧烈振动并导致保温层脱落，产生噪声，或从补水箱、安全阀上大量冒水；特别是高温水供热系统的水击更具破坏性，会使地沟内管道支架被破坏。因此，对于供热系统的水击问题一定要从设计上予以认真预防。

预防水击的措施有：

（1）在热网循环水泵之间设置一根带止回阀的泄压旁通管，如图8-32所示。

由于水击现象，循环水泵入口侧压力骤然上升，出水侧压力急剧降低，在此压差作用下，压力较高侧的水会推开止回阀2将水排入压力较低侧，从而会降低吸水侧管道压力升高的幅度，减缓和防止水击危害，同时会延长水泵使用寿命。泄压旁通管1的管径一般比水泵进出水管母管的管径小一号或取0.7的母管管径截面积。

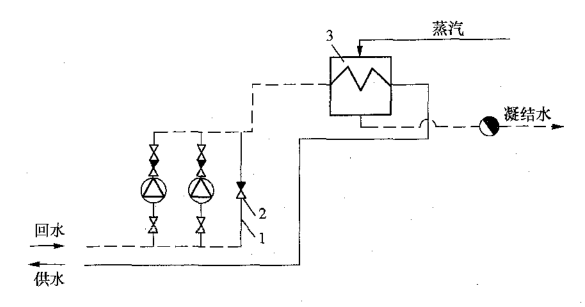


图8-32 防止水击的措施示意图

1—泄压旁通管；2—止回阀；3—热源

（2）选用单级离心泵作循环泵以增加水泵的转动惯性，延长停泵时间，可作为减缓水击危害的辅助手段。

三、预防供热系统超压的措施

在供热系统的实际运行中，往往会因为各种故障引起系统压力升高，超过系统工作压力，严重的会破坏供热系统的设备和管道。因此，在热源系统的设计中，必须考虑突然超压的问题。

预防供热系统超压的措施有：

1. 蒸汽供热系统

为了防止超压，蒸汽供热系统应安装安全阀，安装位置一般在加热设备和分汽缸上。当工作压力小于1.3MPa时，安全阀的开启压力等于工作压力加上0.03MPa。

2. 热水供热系统

热水供热系统应根据不同的定压方式采用不同的防超压措施。

（1）当采用软化水和锅炉连续排污水定压时，可在分水器和集水器上设安全阀。

（2）当采用开式高位水箱定压时，开式高位水箱可以容纳系统的膨胀水并起泄压作用，因此除了加热器本身所带的安全阀外，系统可以不加其他泄压装置。

（3）当采用补给水泵定压时，可专门设置泄压管道，管道上设置压力调节阀或溢流阀，泄压管道设在水泵入口侧，也可设在水泵出口侧。

（4）当采用自动定压补水装置、变频调速补水泵等厂家供货的补水定压设备时，应采用安全阀作泄压装置。

第八节 加热站主要设备参数

本节的设备参数表是根据相关厂家提供的资料整理出来的，在具体工程中设计者应根据实际工程进行校核验算。

（1）壳管式换热机组参数见表8-19～表8-22。

表 8-19　　壳管式汽-水供暖换热机组参数

序号	机组供热量（MW）	产热水量（t/h）	额定蒸汽流量（t/h）	循环水泵			补水泵			机组净重（kg）	满水质量（kg）	外形尺寸长×宽×高（m×m×m）
				型号	台数	单台功率（kW）	型号	台数	单台功率（kW）			
1	2.8	120	4.17	100-160	2	15	50-160	2	3	3100	6100	3.1×2.3×2.5
2	3.5	150	5.21	125-160A	2	18.5	50-160	2	3	3900	7800	3.6×2.5×2.5
3	4.2	180	6.25	150-315A	2	22	50-160	2	3	4100	8800	3.8×2.6×2.7
4	4.9	210	7.29	150-315A	2	22	65-200B	2	5.5	5000	10200	4×2.8×2.7
5	5.6	240	8.33	200-315	2	30	65-200B	2	5.5	5850	11200	4.4×3×2.7
6	6.3	270	9.37	125-160A	3	18.5	65-200B	2	5.5	5900	12500	4.6×2.8×3.5
7	7	300	10.4	125-160A	3	18.5	65-200B	2	5.5	6100	13500	4.6×2.8×3.5
8	8.4	360	12.5	150-315A	3	22	65-200B	2	5.5	6800	15700	5×3.4×3.5
9	9.8	420	14.6	150-315A	3	22	65-200B	2	5.5	8700	19300	5.5×3.6×3.5
10	11.2	480	16.7	200-315	3	30	65-200B	2	5.5	9400	21000	5.8×4×3.5
11	12.6	540	18.7	200-315（I）B	3	37	65-200B	2	5.5	10500	23800	6×4×3.5
12	14	600	20.8	200-315（I）B	3	37	80-200B	2	11	11600	25800	6×4×3.5
13	17.5	750	26	250-315A	3	55	80-200B	2	11	13400	31400	6.4×4.5×3.7
14	21	900	31.2	250-315A	3	55	80-200B	2	11	14800	35800	6.4×4.5×3.7

注　1. 额定工况：供水温度为 80℃，回水温度为 60℃，蒸汽压力为 0.2～0.9MPa。
2. 最高供水温度为 95℃。
3. 额定蒸汽流量按 0.4MPa 饱和蒸汽计算，蒸汽压力和温度不同时可按其比焓折算。

表 8-20　　壳管式水-水供暖换热机组参数

序号	机组供热量（MW）	二次额定水量（t/h）	一次额定水量（t/h）	循环水泵			补水泵			机组净重（kg）	满水质量（kg）	外形尺寸长×宽×高（m×m×m）
				型号	台数	单台功率（kW）	型号	台数	单台功率（kW）			
1	0.35	15	8.57	50-160（I）B	2	3	20-160	1	1.1	1050	1780	2×1.6×2.8
2	0.7	30	17.1	50-160（I）A	2	4	25-160	1	1.5	1700	2700	2.2×1.7×2.8
3	1.05	45	25.7	65-160（I）B	2	5.5	25-160	1	1.5	1850	3050	2.5×1.9×2.8
4	1.4	60	34.3	65-160（I）A	2	7.5	40-160	1	2.2	1950	3300	2.8×1.9×2.8
5	1.75	75	42.9	80-160（I）A	2	11	40-160	1	2.2	2600	4400	2.8×2.2×2.8
6	2.1	90	51.4	80-160（I）A	2	11	40-160	1	2.2	2950	4900	2.8×2.2×2.8
7	2.8	120	68.6	100-160	2	15	50-160	2	3	3560	6550	3.2×2.5×3
8	3.5	150	85.7	125-160A	2	18.5	50-160	2	3	4300	8200	3.6×2.7×3

注　额定工况：一次水供、回水温度为 110/75℃，二次水供、回水温度为 60/80℃。

表 8-21　　壳管式汽-水空气调节换热机组参数

序号	机组供热量（MW）	额定蒸汽流量（t/h）	循环水量（t/h）	循环水泵			补水泵			机组净重（kg）	满水质量（kg）	外形尺寸长×宽×高（m×m×m）
				型号	台数	单台功率（kW）	型号	台数	单台功率（kW）			
1	0.35	0.52	30	50-160（I）A	2	4	20-160	1	1.1	920	1500	2×1.5×2.5
2	0.7	1.04	60	65-160（I）A	2	7.5	25-160	1	1.5	1300	2200	2.2×1.6×2.5

续表

序号	机组供热量（MW）	额定蒸汽流量（t/h）	循环水量（t/h）	循环水泵			补水泵			机组净重（kg）	满水质量（kg）	外形尺寸长×宽×高（m×m×m）
				型号	台数	单台功率（kW）	型号	台数	单台功率（kW）			
3	1.05	1.56	90	80-160（I）A	2	11	25-160	1	1.5	1480	2500	2.6×1.8×2.5
4	1.4	2.08	120	100-160	2	15	40-160	1	2.2	1560	2800	2.9×1.9×2.5
5	1.75	2.6	150	125-160A	2	18.5	40-160	1	2.2	2160	3800	3×2.2×2.5
6	2.1	3.12	180	150-315A	2	22	40-160	1	2.2	2280	4100	3.1×2.3×2.5
7	2.8	4.17	240	200-315	2	30	50-160	2	3	2960	5600	3.5×2.6×2.5
8	3.5	5.21	300	125-160A	3	18.5	50-160	2	3	3750	7100	4×2.6×3

注 1. 供水温度为 60℃（65℃），回水温度为 50℃（55℃），蒸汽压力为 0.2～0.9MPa。
2. 额定蒸汽流量按 0.4MPa 饱和蒸汽计算，蒸汽压力和温度不同时可按其比焓折算。

表 8-22　　壳管式水-水空气调节换热机组参数

序号	机组供热量（MW）	二次额定水量（t/h）	一次额定水量（t/h）	循环水泵			补水泵			机组净重（kg）	满水质量（kg）	外形尺寸长×宽×高（m×m×m）
				型号	台数	单台功率（kW）	型号	台数	单台功率（kW）			
1	0.35	30	12	50-160（I）A	2	4	20-160	1	1.1	950	1560	2×1.5×2.5
2	0.7	60	24	65-160（I）A	2	7.5	25-160	1	1.5	1380	2300	2.2×1.8×2.5
3	1.05	90	36	80-160（I）A	2	11	25-160	1	1.5	1780	2850	2.6×2×2.5
4	1.4	120	48	100-160	2	15	40-160	1	2.2	1900	3200	2.9×2.2×2.5
5	1.75	150	60	125-160A	2	18.5	40-160	1	2.2	2560	4300	3×2.4×2.5
6	2.1	180	72	150-315A	2	22	40-160	1	2.2	2580	4680	3.1×2.5×2.5
7	2.8	240	96	200-315	2	30	50-160	2	3	3300	5900	3.5×2.9×3
8	3.5	300	120	125-160A	3	18.5	50-160	2	3	4150	7500	4×2.9×3

注 额定工况：一次水供、回水温度为 95/70℃，二次水供、回水温度为 50/60℃。

（2）板式智能换热机组参数见表 8-23。

表 8-23　　板式水-水供暖换热机组参数

序号	机组供热量（MW）	二次额定水量（t/h）	一次额定水量（t/h）	循环水泵				
				型号	台数	单台功率（kW）	流量（m^3/h）	扬程（kPa）
1	0.35	15	8.57	50-160（I）B	2	2.2	15～28	206～260
2	0.7	30	17.2	65-160（I）B	2	4	30.3～56.3	210～260
3	1.05	45	25.7	65-160（I）A	2	5.5	32.7～61	240～306
4	1.4	60	34.3	65-160（I）	2	7.5	35～65	280～350
5	1.75	75	42.9	80-160（I）A	2	11	65.4～121.6	210～320
6	2.1	90	51.4	100-160A	2	11	65.4～121.6	210～320
7	2.8	120	68.6	100-160（I）A	2	18.5	84～168	235～320
8	3.5	150	85.7	100-160（I）	2	22	96～192	280～360

续表

序号	补水泵					机组净重（kg）	满水质量（kg）	外形尺寸 长×宽×高（m×m×m）
	型号	台数	单台功率（kW）	流量（m^3/h）	扬程（kPa）			
1	20-160	1	1.1	1.8～3.3	300～330	760	880	2.8×0.8×1.6
2	20-160	1	1.1	1.8～3.3	300～330			
3	25-160	1	1.5	2.8～5.2	300～330	1460	1700	
4	25-160	1	1.5	2.8～5.2	300～330			3.0×1.5×1.9
5	25-160	2	1.5	2.8～5.2	300～330			
6	25-160	2	1.5	2.8～5.2	300～330	2600	2960	
7	40-160	2	2.2	4.4～8.3	300～330			3.8×1.5×2.1
8	40-160	2	2.2	4.4～8.3	300～330			

注 1. 额定工况：高温侧供回水温度为 110/75℃，低温侧供回水温度为 80/60℃。
2. 在下列工况下机组换热能力不变：①高温侧供回水温度为 130/85℃，低温侧供回水温度为 95/70℃；②高温侧供回水温度为 95/70℃，低温侧供回水温度为 75/55℃。

（3）供暖直供旁通混水型混水机组参数见表 8-24。

表 8-24　　供暖直供旁通混水型混水机组参数

序号	机组供热量（kW）	流量（m^3/h）	扬程（kPa）	混水泵功率（kW）	参考公称管径（mm）	外形尺寸 宽×长×高（m×m×m）
1	105	3.6	100	0.4	DN50	550×1600×1100
2			150	0.6		
3	209	7.2	100	1.1	DN70	1200×1800×1800
4			150	1.5		
5	419	14.4	100	1.5	DN70	1300×2000×1800
6			150	2.2		
7	628	21.6	100	2.2	DN80	1300×2200×1800
8			150	3		
9	837	28.8	100	3	DN100	1400×2200×1800
10			150	4		
11	1047	36	100	3	DN101	1400×2200×1800
12			150	4		
13	1256	43.2	100	4	DN125	1800×2500×1900
14			150	5.5		
15	1674	57.6	100	4	DN126	1800×2500×1900
16			150	5.5		
17	1884	64.8	100	5.5	DN150	1900×2900×1900
18			150	7.5		
19	2093	72	100	5.5	DN151	1900×2900×1900
20			150	7.5		

第九章

制 冷 站

第一节 设 计 原 则

制冷站是专门为某建筑物或某一特定区域内多个建筑物的空气调节系统、降温通风系统制备冷热水的设备站房。制冷站通过管网向全厂建筑集中供冷（热）水。

制冷站集中供冷（热）具有减少建设初投资、提高制冷机能源利用效率、美化环境、减少制冷空气调节系统的日常维护费用、提高制冷系统的安全性和有效性等优点。

21 世纪以来，随着国家电力结构向低碳、高效、环保方向的转变，新建、扩建的燃煤电厂以 600MW 及以上超临界或超超临界机组为主力机组，发电厂主厂房及集中控制楼、辅助生产厂房内工艺性集中空气调节系统及降温通风系统、舒适性集中空气调节系统的使用较为广泛，冷负荷大幅增加，全年供冷时间也较长（位于南方地区的大型燃煤电站全年供冷时间超过 6 个月）。

随着社会的发展与进步，人们对室内生产和生活环境要求的提高，发电厂附属建筑及厂前区建筑对空气调节的需求也越来越高。在我国长江以南地区，新建 2×1000MW 燃煤发电机组工程夏季全厂集中供冷的总冷负荷可达 3000～5000kW。

火力发电厂内既有电、蒸汽、天然气多种可靠能源，又有废热、余热可利用的能源，可谓能源多样化。发电厂总供冷负荷中，用于消除工艺设备发热量所需的冷负荷占总冷负荷比例超过 50%以上，同时全厂供冷半径基本不超过 1km，且厂区通常设有综合管架便于布置供冷管网。这些特点比较符合制冷站实施的条件。

基于上述的原因，近年来越来越多的发电厂，尤其是位于夏热冬冷及夏热冬暖地区的电厂站，采用制冷站集中供冷方案。

制冷站设计原则：

（1）制冷站设计应符合国家及行业有关标准、规范的规定，严格遵守安全规程，遵循保护环境、节约能源、技术可靠、讲究效益的方针。

（2）制冷站的冷源应根据发电厂类型、建设地点的气候条件、建筑规模及冷负荷分布等因素确定，并应符合国家节能减排和环保等相关政策，充分利用废热、余热和可再生能源。

（3）主厂房、集中控制楼及冷负荷较大的生产辅助建筑宜集中设置制冷站。厂前区宜单独设置集中制冷站。

（4）集中制冷站应靠近冷负荷中心，且宜与厂区供暖加热站合并布置。

（5）集中制冷站冷（热）源系统应设置自动监控系统。

第二节 冷源选择与配置

一、火力发电厂常用冷源的种类与特点

空气调节系统冷源包括天然冷源和人工冷源。天然冷源主要包括雪水、江水、湖水、深井水等。近年来随着蒸发冷却技术的发展，我国西北地区利用天然干空气能供冷的节能技术得到大量的应用与推广。人工冷源设备主要有电驱动的蒸汽压缩式冷水机组、热驱动的溴化锂吸收式冷水机组及由干空气能为驱动源的蒸发冷却式冷水机组。

冷源设备常见的分类方法主要有以下几种：

（1）按不同制冷方式分类的冷水机组，其优、缺点见表 9-1。

（2）按冷水机组冷凝器冷却方式分类，冷水机组可分为水冷式冷水机组、风冷式冷水机组和蒸发冷凝式冷水机组。

蒸发冷凝式冷水机组是近年来为适应节能环保而推出的一款新产品，其特点是将制冷剂的冷凝热通过蒸发冷凝器（如图 9-1 所示）直接排放到室外空气，而无需常规水冷式冷水机组的冷却水中间换热环节，机组冷凝温度比水冷式冷水机组可降低 4℃左右，能效比可提高 12%，同时还可节省冷却水泵的能耗。

表 9-1　各类型冷水机组的优、缺点比较

类型	适用范围	主要优点	主要缺点	适应性
活塞式	单机制冷量 $Q<580$kW	（1）在空气调节工况下（压缩比为4左右）其容积率比较高；（2）系统装置较简单；（3）用材为普通金属，加工易，造价低	（1）往复运动，惯性力大，振动大，转速较低；（2）单机容量小，单位制冷量的设备质量大；（3）COP 低	因COP低，目前已很少使用
涡旋式	单机制冷量 $Q<100$kW	（1）涡旋式压缩机的零件数量比活塞式压缩机少60%左右，使用寿命更长，运行更可靠；（2）压缩机为回旋容积式设计，余隙容积小，摩擦损失小，运行效率高；（3）振动小，噪声低，抗液击能力高；（4）COP 高	（1）涡盘在加工方面的精度要求高，必须采用专用的加工设备和装配技术，高形位公差的要求限制了它的普及；（2）出于强度方面的考虑，涡旋壁的高度不能做得太高，因此排量一般较小	因单机制冷量小，一般用于多机头冷水机组或模块化冷水机组
螺杆式	单机制冷量 $Q<580\sim1700$kW	（1）COP 高，单机制冷量大，容积效率高；（2）结构简单，无往复式运动的惯性力，转速高；（3）对湿冲程不敏感；无液击危险；（4）易损件少，运行可靠，调节方便，通过滑阀可实现制冷量无级调节	（1）单机容量比离心式小，转速比离心式低；（2）润滑油系统比较庞大、复杂，耗油量较大；（3）加工精度和装配精度要求高	单机制冷量范围较适合电厂集中制冷站的冷负荷，使用较为广泛
离心式	单机制冷量 $Q>580$kW	（1）COP 高，单机制冷量大；（2）叶轮转速高，结构紧凑，单位制冷量机组质量小，占机房面积少；（3）叶轮作旋转运动，运转平稳，振动较小，噪声较低；（4）调节方便，在15%～100%范围内能较经济地实现无级调节；（5）采用多级压缩时，效率可提高10%～20%，且能改善低负荷时的喘振现象	（1）由于转速高，对材料强度、加工精度等要求严格；（2）单级压缩时，在低负荷下运行，易发生喘振（除非热气旁通或变频）	适用于冷负荷较大全厂性集中制冷站
吸收式	单机制冷量 $Q<170\sim3490$kW	（1）加工简单成本低，制冷量调节范围大，可实现无级调节；（2）可利用余热、废热作为热源，运行成本低；（3）采用溴化锂水溶液工质对时，对生态环境无破坏作用；（4）运动部件少，振动小，噪声低；（5）直燃型机组可直接供冷和供热，节约机房面积	（1）使用寿命低于压缩式冷水机组；（2）蒸汽型机组的耗汽量大，热效率较低；（3）作为制冷机时，一次能源性能系数低；（4）制冷运行中，负荷变化时，易产生溶液结晶；（5）溴化锂水溶液对金属有腐蚀性	（1）蒸汽双效型溴化锂机组使用最多；（2）单效蒸汽及热水型机组应视废热热源参数而定；（3）直燃型机组使用少
蒸发冷却式	额定水流量 $Q\leq400m^3/h$	（1）加工简单，成本低，机组模块化设计；（2）干空气能为驱动源，节能环保；（3）运动部件少，振动小；（4）依靠控制机组排风量，制冷量调节方便；（5）设备布置在室外，无需机房	（1）使用范围受当地室外干、湿球温度的限制；（2）供水温度较高，需要水源；（3）使用寿命低于电驱动式冷水机组	逐步推广使用，前景广阔

注　COP 为冷水机组性能系数，W/W。

（3）按能量利用形式分类，冷水机组可分为单冷型机组、空气源热泵机组、水源热泵机组、（水）蒸发冷却式等。

二、制冷剂

制冷剂是制冷系统中吸收及传递热量最重要的工作流体。制冷剂在低温低压下吸收热量，在高温高压下放出热量。在热量吸收-蒸发-放热-凝结过程中，多数制冷剂都会发生相变。

1. 制冷剂种类

根据制冷剂的分子结构，制冷剂分为无机化合物和有机化合物两大类。常用无机化合物制冷剂有水、氨、二氧化碳等。常用有机化合物制冷剂有卤代烃（氟利昂）、碳氢化合物（烃类物质）、混合制冷剂和其他有机化合物等。

GB/T 7778—2008《制冷剂编号方法和安全性分类》中规定了各种通用制冷剂的简单编号方法以代替其化学名称、分子式或商品名称。标准中规定用英文

字母 R（Refrigerant）和它后面的一组数字及字母作为制冷剂的简写编号。

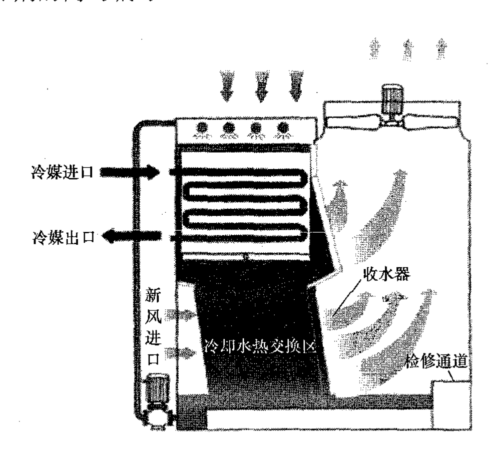


图 9-1 蒸发冷凝器原理图

GB/T 7778—2008 还根据制冷剂的化学组成成分规定了一种成分标识前缀符号的表示方法，即不含氢的卤代烃称为氯氟烃，写成 CFC；含氢的卤代烃称为氢氯氟烃，写成 HCFC；不含氯的卤代烃称为氢氟烃，写成 HFC；碳氢化合物写成 HC。

2. 制冷剂选择原则

制冷剂的选择应从热力学性能、安全性、环境友善性三个方面进行辩证分析及比较。热力学性能的优劣不但直接影响到设备与系统的能效，而且还影响到空气调节制冷设备的间接温室气体排放；确保安全是制冷空气调节系统运行的保证，采用任何安全级别的制冷剂，必须在外部使用条件上增强严格的限制，以弥补制冷剂本身在安全性上的缺陷；保护环境是人类的共同责任，必须把环境友善性作为选择制冷剂的一个必要的制约条件来考虑。

因此，应按照科学的原理选用大气寿命短、消耗臭氧层潜值（ODP）与全球变暖潜值（GWP）均小、热力性能优良（COP 高），并在一定条件下能确保安全使用的制冷剂。表 9-2 给出了常用制冷剂四个主要环境评价指标，其术语说明如下：

（1）消耗臭氧层潜值（ODP）。比较一种 ODS[1] 体排放相对于 CFC-11 排放所产生的臭氧层消耗的指标。

（2）全球变暖潜值（GWP）。比较一种温室气体排放相对于等量 CO_2 排放所产生的气候影响的指标。$GWP_{100}Y$ 被定义为在固定时间范围内 1kg 物质与 1kg CO_2 的脉冲排放引起的时间积累（100 年）的辐射力的比率。

（3）大气寿命。任何物质排放到大气层被分解一半（数量）所需的时间。

（4）理论 COP。在不受设备或运行工况影响下，工质理想制冷循环的性能表现（即 COP）以每一个单位的能耗给出多少单位的制冷量计算。

表 9-2 常用制冷剂的环境评价指标

压力	制冷剂名称	ODP	$GWP_{100}Y$	大气寿命 t（年）	理论 COP
低压	R-11（CFC-11）	1.000	4750	45	7.57
	R-123（HCFC-123）	0.02	77	1.3	7.44
中压	R-12（CFC-12）	1.00	10890	100	7.06
	R-134a（HFC-134a）	0	1430	14.0	6.94
高压	R-22（HCFC-22）	0.05	1810	12.0	6.98
	R-125（HFC-125）	0	3500	29	6.08
	R-32（HFC-32）	0	675	4.9	6.74
混合制冷剂	R407C（R32/R125/R134a）	0	1800	（4.9/29/14）	6.78
	R-410A（R32/R125）	0	2100	（4.9/29）	6.56

注 1. ODP、GWP、大气寿命 t 数据源自《蒙特利尔协议书》中的《臭氧层科学评估书》。
2. 理论 COP 工况：蒸发温度 4.4℃，冷凝温度 37.8℃，饱和条件。

3. CFCs 及 HCFCs 的限制与替代

（1）《蒙特利尔协议书》及其后来的《伦敦修正案》。决定全面禁止 CFCs 的使用期限由 2000 年 1 月 1 日提前至 1996 年 1 月 1 日，而且对 HCFCs 制定了逐步淘汰时间表。发达国家要在 2030 年前全部淘汰 HCFCs，发展中国家到 2016 年把 HCFCs 的消费量冻结在 2015 年的水平上，至 2040 年停止其全部新的 HCFCs 的生产和消费。

（2）1997 年 12 月《京都协议书》。从抑制全球气候变暖的角度出发，确定 CO_2、HFCs 等温室气体为受管制的温室气体，并将限制上述温室气体的排放总量。

（3）我国属发展中国家，政府迄今批准了《蒙特利尔协议书》及其《伦敦修正案》，以及《京都协议书》，并出台了相关的政策和法规，规定 2010 年全部终止 CFCs 的生产与消费，确定了 ODS 实施逐步淘汰的技术路线。

（4）2015 年 12 月 12 日，《联合国气候变化框架

[1] 消耗臭氧层物质（ODS）：已知的消耗平流层臭氧的物质，包括哈龙、CFC、HCFC、CH_3Br、CCl_4 等。平流层臭氧在平流层的辐射平衡中起主要作用。

公约》近200个缔约方一致同意通过《巴黎协定》。《巴黎协定》指出，各方将加强对气候变化威胁的全球应对，把全球平均气温较工业化前水平升高控制在2℃之内，并为把升温控制在1.5℃之内而努力。全球将尽快实现温室气体排放达峰，21世纪下半叶实现温室气体净零排放。

目前，我国关于制冷剂现行政策和法规的主要内容如下：

（1）GB/T 7778—2008定义了制冷剂的环境指标。

（2）HJBZ 41—2001《环境标品技术要求》中ODS替代产品标准规定：凡是ODP小于或等于0.11的制冷剂，现阶段都是环保的。其中包括了目前常用的HCFC-22（R-22）与HCFC-123（R-123）。

（3）2007年6月中国国家环保总局发布的“环保总局修订消耗臭氧层物质（ODS）替代品推荐目录”中，对常见制冷剂作了规定（见表9-3）。

表9-3　环保总局修订消耗臭氧层物质（ODS）替代品推荐目录（摘要）

替代品名称	被替代品的ODS
R-22（HCFC-22）	CFC-12、R502
R-134a（HFC-134a）	CFC-12、CFC-11、R500
R-123（HCFC-123）	CFC-11
R407C	HCFC-22
R410A	HCFC-22
氨	CFC-11、CFC-12

（4）就长远的发展趋势而言，HFC_S在未来的消费淘汰也是不可避免的，唯一不能确定的是这一替代的时间表。在明确淘汰时间之前，我国可使用HCFC-123、HCFC-22、HFC-134a作为冷水机组的制冷剂。

4. 电动压缩式冷水机组常用制冷剂

各类电动压缩式冷水机组常用制冷剂见表9-4。

表9-4　各类电动压缩式冷水机组常用制冷剂

冷水机组形式	涡旋式	螺杆式	离心式
常用环保制冷剂	R-22、R407C、R410A	R-22、R-134a、R407C、R410A	R-123、R-22、R-134a

三、冷源设备的装机容量

1. 冷源设备总装机容量

冷源设备总装机容量应按下列原则确定：

（1）初步设计阶段按照冷指标估算冷负荷时，确定冷源设备容量时不应再附加修正系数。

（2）施工图阶段应根据第三章第二节的要求，对供冷建筑内各空气调节及降温通风系统冷负荷进行详细计算，并附加通过水泵、管网和水箱等温升引起的冷负荷。

（3）等离子点火配电间仅作为锅炉点火启动使用时，其降温通风冷负荷不应计入冷源设备容量。

（4）厂前区集中制冷站的总装机容量，应考虑各空气调节系统的同时使用系数。

（5）冷水机组供冷量应根据设计工况的冷水供回水温度、冷却水供回水温度、当地大气压、夏季空气调节室外计算干球温度、夏季空气调节室外计算湿球温度等参数对冷水机组的技术资料中名义工况进行比对及修正。

（6）施工图设计阶段应考虑冷水机组水侧污垢、溴化锂吸收式机组真空度不够及腐蚀等因素，应对供冷（热）量进行合理的修正。

2. 水泵、管网和水箱等温升引起的附加冷负荷

水泵、管网和水箱等温升引起的附加冷负荷应按下列方式计算：

（1）冷水通过水泵后水的温升可按式（9-1）计算或按表9-5确定。

$$\Delta t=0.023H/\eta \tag{9-1}$$

式中　Δt——冷水通过水泵后水的温升，℃；

H——水泵扬程，kPa；

η——水泵效率。

表9-5　冷水通过水泵后水的温升　（℃）

水泵效率η	水泵扬程H（kPa）					
	100	150	200	250	300	350
0.5	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16
0.6	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13
0.7	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12
0.8	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.12

（2）由保温冷水管壁传入热量引起水的温升可按式（9-2）计算或按表9-6确定。

$$\Delta t=\frac{1000}{1.16}\times\frac{QL}{G}=\frac{862QL}{G} \tag{9-2}$$

式中　Δt——保温冷水管道水的温升，℃；

Q——每米长保温冷水管道的冷损失，W/m；

L——冷水管道的长度，m；

G——保温冷水管道的流量，m^3/s。

表9-6　每100m长保温冷水管道水的温升

冷水管道保温层外径D（mm）	50	70～80	100	150	200以上
水的温升Δt（℃）	0.15	0.1	0.07	0.05	0.03

（3）冷水箱温升引起的冷量损失计算，可根据水箱保温情况、水箱间的环境温度、水箱内冷水的平均温度，按稳态传热方法进行计算。

3. 水侧污垢及其他因素修正

（1）电驱动的蒸汽压缩式冷水机组水侧污垢修正系数按表 9-7 选取。

表 9-7　水侧污垢系数对冷水机组制冷量、供热量的修正系数　（%）

污垢系数（$m^2\cdot$℃/kW）		0.043	0.086	0.172	0.258	0.344
制冷量	冷却水侧	104	100	92	85	79
	冷水侧	103	100	94	—	—
供热量	温水侧	103	100	94	—	—

（2）溴化锂吸收式冷水机组水侧污垢、真空度不够及腐蚀等因素，制冷量宜增加 10%～15%。

（3）冷水机组水侧污垢对制冷量修正后的机组制冷量计算式为

$$\Phi_0=\Phi\times[1-(1-a\%)-(1-b\%)] \tag{9-3}$$

式中　Φ_0——修正后的机组制冷量，kW；

Φ——机组名义制冷量，kW；

a——冷却水侧污垢修正系数，$m^2\cdot$℃/kW；

b——冷水侧污垢修正系数，$m^2\cdot$℃/kW。

四、冷源设备选择

（一）冷源设备选择原则

（1）当有余热或废热温度满足要求，经技术经济论证合理时，宜采用溴化锂吸收式冷水机组。燃气电厂不应采用直燃式溴化锂吸收式冷水机组。

（2）当汽轮机较低级抽汽汽源有可靠保证时，宜采用溴化锂吸收式冷水机组供冷。

（3）在夏季室外空气设计湿球温度较低的地区，可采用蒸发式冷水机组供冷。

（4）当吸收式冷水机组或蒸发式冷水机组不具备上述使用条件时，应采用电动压缩式冷水（热泵）机组。

（5）当工艺冷却水水源可靠性及水质、压力、温度满足技术要求时，宜选用水源热泵机组作为空气调节冷热源。

（二）采用汽轮机抽汽来驱动溴化锂吸收式冷水机组的能耗分析

为保证蒸汽汽源的可靠，火力发电厂通常采用汽轮机抽汽来作为溴化锂吸收式冷水机组的热源。抽取在汽轮机做过部分功的蒸汽会减少蒸汽继续做功的能力，从而会降低发电能力。

通过美国 PEPSE（performance evaluation of power system efficiencies）计算软件来计算不同型号、容量、参数的汽轮机在不同负荷情况下各段抽汽的参数（压力、温度），计算出在考虑发电效率后因抽汽而减少的输出电能，将这部分减少的电能在不考虑输电损失的因素下用来驱动节能型水冷螺杆式冷水机组（COP=5.1W/W），并与国内双效蒸汽溴化锂吸收式冷水机组的主流生产商的节能产品［单位制冷量蒸汽耗量=1.1kg/（h·kW）］进行能耗对比。比对结果表明：

（1）汽轮机因抽汽而减少的输出电能随汽轮机容量、压力和温度参数的升高而增加，同参数的汽轮机低段抽汽比高段抽汽而减少的输出电能小。

（2）采用节能型水冷螺杆式冷水机组制冷比采用汽轮机抽汽来驱动双效蒸汽溴化锂吸收式冷水机组制冷能耗低 10%～25%。

因此，火力发电厂采用汽轮机抽取来驱动双效蒸汽溴化锂吸收式冷水机组来作为冷源可节省电力，降低厂用电率，但并不节能。

（三）电动蒸汽压缩式冷水（热泵）机组

（1）电动蒸汽压缩式冷水（热泵）机组名义工况及规定条件应满足表 9-8 的规定。

（2）选择水冷电动压缩式冷水机组类型时，宜按表 9-9 中的制冷量范围，通过性能价格比，选择合适的机型。

表 9-8　电动蒸汽压缩式冷水（热泵）机组名义工况及规定条件

项目	使用侧		热源侧（或放热侧）					
	冷、热水		水冷式		风冷式		蒸发冷却式	
	水流量［m^3/（h·kW）］	出口水温（℃）	进口水温（℃）	单位制冷量水流量［m^3/（h·kW）］	干球温度（℃）	湿球温度（℃）	干球温度（℃）	湿球温度（℃）
制冷	0.172	7	30	0.215	35	—	—	24
热泵制热	0.172	45	15	0.134	7	6	—	—
大气压力及污垢系数	大气压力为 1013hPa，蒸发器水侧污垢系数为 0.018$m^2\cdot$℃/kW，冷凝器水侧污垢系数为 0.044$m^2\cdot$℃/kW							

注　本表摘自 GB/T 18430.1—2007《蒸气压缩循环冷水（热泵）机组　第 1 部分：工业或商业用及类似用途的冷水（热泵）机组》。

表 9-9　水冷电动压缩式冷水机组选型

单机名义工况制冷量（kW）	冷水机组机型
≤116	涡旋式/活塞式
116～1054	螺杆式
1054～1758	螺杆式
	离心式
≥1758	离心式

注　本表摘自 GB 50019—2015。

（3）电动机驱动的压缩式冷水（热泵）机组，在名义制冷工况和规定条件下的性能系数 COP 应符合下列规定：

1）水冷定频及风冷或蒸发冷却机组的性能系数 COP 不应低于表 9-10 中的数值。

2）水冷变频螺杆式机组、水冷变频离心式机组的性能系数 COP 不应低于表 9-10 中数值的 0.95 及 0.93。

3）有条件时，应优先选择表 9-11 中能源效率等级为 2 级以上的节能产品。

表 9-10　冷水（热泵）机组制冷性能系数

类　型		名义制冷量 CC（kW）	性能系数 COP（W/W）					
			严寒 A、B 区	严寒 C 区	温和地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区
水冷	活塞式①/涡旋式	CC≤528	4.10	4.10	4.10	4.10	4.20	4.40
	螺杆式	CC≤528	4.60	4.70	4.70	4.70	4.80	4.90
		528＜CC≤1163	5.00	5.00	5.00	5.10	5.20	5.30
		CC＞1163	5.20	5.30	5.40	5.50	5.60	5.60
	离心式	CC≤1163	5.00	5.00	5.10	5.20	5.30	5.40
		1163＜CC≤2110	5.30	5.40	5.40	5.50	5.60	5.70
		CC＞2110	5.70	5.70	5.70	5.80	5.90	5.90
风冷或蒸发冷却	活塞式/涡旋式	≤50	2.60	2.60	2.60	2.60	2.70	2.80
		＞50	2.80	2.80	2.80	2.80	2.90	2.90
	螺杆式	≤50	2.70	2.70	2.70	2.80	2.90	2.90
		＞50	2.90	2.90	2.90	3.00	3.00	3.00

注　本表摘自 GB 50189—2015。

①　活塞式机组因能效低，现已很少使用。

表 9-11　冷水（热泵）机组能源效率等级下的性能系数 COP　（W/W）

类　型	额定制冷量 CC（kW）	能源效率等级				
		1	2	3	4	5
风冷或蒸发冷却式	CC≤50	3.20	3.00	2.80	2.60	2.40
	CC＞50	3.40	3.20	3.00	2.80	2.60
水冷式	CC≤528	5.00	4.70	4.40	4.10	3.80
	528＜CC≤1163	5.50	5.10	4.70	4.30	4.00
	CC＞1163	6.10	5.60	5.10	4.60	4.20

注　本表摘自 GB 50189—2015。

（4）目前，我国水冷冷水机组的设计工况多为冷凝侧温度 32/37℃，蒸发侧温度 7/12℃，冷凝器、蒸发器污垢系数 GB/T 18430.1—2007 规定的名义工况不相同；风冷或蒸发式冷水机组也存在相同的问题。

实际设计中，可根据生产厂商的计算软件通过调整压缩机及冷凝器、蒸发器等来匹配冷水机组，选择适合要求的设备，并分别得出机组在设计工况条件下机组的 COP。

计算风冷冷水机组的 COP 时，机组消耗功率应包含放热侧风机功率；对于蒸发冷凝式机组或蒸发冷却式机组，机组消耗功率应包含放热侧水泵和风机功率。

（5）综合部分负荷性能系数（IPLV）。GB 50189—2015 中规定，电动机驱动的蒸气压缩循环冷水（热泵）

机组的综合部分负荷性能系数（IPLV）应按式（9-4）计算，同时水冷定频机组、风冷或蒸发冷凝机组的 IPLV 不应低于表 9-12 中的规定值，对于水冷变频螺杆式机组、水冷变频离心式机组的 IPLV 不应低于表 9-12 中规定值的 1.15 倍和 1.30 倍。

$$IPLV=1.2\%A+32.8\%B+39.7\%C+26.3\%D \quad (9-4)$$

式中 A——100%负荷时的性能系数，W/W，在冷却水进水温度 30℃/冷凝器进气干球温度 35℃时的工况下；

B——75%负荷时的性能系数，W/W，在冷却水进水温度 26℃/冷凝器进气干球温度 31.5℃时的工况下；

C——50%负荷时的性能系数，W/W，冷却水进水温度 23℃/冷凝器进气干球温度 28℃时的工况下；

D——25%负荷时的性能系数，W/W，冷却水进水温度 19℃/冷凝器进气干球温度 24.5℃时的工况下。

表 9-12　冷水（热泵）机组综合部分负荷性能系数

类型		名义制冷量 CC（kW）	综合部分负荷性能系数 IPLV（W/W）					
			严寒 A、B 区	严寒 C 区	温和地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区
水冷	活塞式/涡旋式	CC≤528	4.90	4.90	4.90	4.90	5.05	5.25
水冷	螺杆式	CC≤528	5.35	5.45	5.45	5.45	5.55	5.65
水冷	螺杆式	528＜CC≤1163	5.75	5.75	5.75	5.85	5.90	6.00
水冷	螺杆式	CC＞1163	5.85	5.95	6.10	6.20	6.30	6.30
水冷	离心式	CC≤1163	5.15	5.15	5.25	5.35	5.45	5.55
水冷	离心式	1163＜CC≤2110	5.40	5.50	5.55	5.60	5.75	5.85
水冷	离心式	CC＞2110	5.95	5.95	5.95	6.10	6.20	6.20
风冷或蒸发冷却	活塞式/涡旋式	≤50	3.10	3.10	3.10	3.10	3.20	3.20
风冷或蒸发冷却	活塞式/涡旋式	＞50	3.35	3.35	3.35	3.35	3.40	3.45
风冷或蒸发冷却	螺杆式	≤50	2.90	2.90	2.90	3.00	3.10	3.10
风冷或蒸发冷却	螺杆式	＞50	3.10	3.10	3.10	3.20	3.20	3.20

注　本表摘自 GB 50189—2015。

IPLV 应用过程中需要注意以下问题：

1）IPLV 的计算式（9-4）是基于我国典型的公共建筑模型数据库，数据库包括了典型公共建筑的基本信息、使用特点及分布情况，同时调研了主要冷水机组生产厂家的冷水机组性能及销售等数据，并对各气候区部分典型城市的 6 类常用冷水机组作为冷源的公共建筑面积分布为权重系数进行统计平均后而确定的，因此该 IPLV 计算式及 IPLV 限定值主要适应于公共建筑，对发电厂而言，在选取厂前区制冷站制冷机组时，应选用高 COP 的冷水机组，同时应考虑 IPLV 满足表 9-12 的要求。

2）IPLV 只能用于评价单台冷水机组在名义工况下的综合部分负荷性能水平，不能用于评价单台冷水机组在实际运行工况下的性能水平，也不能用于评价多台冷水机组综合部分负荷性能水平。

3）实践证明，冷水机组满负荷运行时间相对较少，大部分时间是在部分负荷下运行。在火力发电厂制冷站（除厂前区制冷站外），设备冷负荷占 60%～70%，而且基本采用多台冷水机组群控运行，根据 AHRI Standard 550/590《蒸汽压缩循环式冷水机组的性能评价》[1]中 D2 的叙述："在多台冷水机组系统中的各个单台冷水机组要比单台冷水机组系统中的单台冷水机组更接近高负荷运行"。因此，在发电厂全厂或厂区制冷站选用冷水机组时，机组的高负荷下的 COP 更具有代表意义。

（四）空气源热泵机组

空气源热泵机组的选择应符合下列要求：

（1）设有集中供暖的电厂，不宜采用空气源热泵机组作为冬季空气调节的热源。

（2）空气源热泵机组的总装机容量，应按计算冷负荷、热负荷值的较大者选取。

（3）空气源热泵机组应具有先进可靠的融霜控制，融霜所需时间总和不应超过运行周期时间的 20%。

（4）空气源热泵机组冬季的有效制热量，应根据室外空气调节计算温度，分别采用温度修正系数和除霜修正系数进行修正，并按式（9-5）计算。冬季设计工况时，冷热水机组的性能系数 COP 不应小于 2.0。

[1] 原英文名称：AHRI Standard 550/590 *Performance Rating of Water-chilling Packages Using the Vapor Compression Cycle*。

需要注意的是，冬季运行性能系数是指扣除各类热量折减后的冬季室外空气调节计算温度时的机组供热量与机组输入功率之比。

$$Q=qK_1K_2 \qquad (9\text{-}5)$$

式中 Q——机组制热量，kW；

q——产品样本中的瞬时制热量（标准工况：室外空气干球温度7℃，湿球温度6℃），kW；

K_1——使用地区室外空气调节计算干球温度的修正系数，按产品样本选取；

K_2——机组融霜修正系数，每小时融霜一次取0.9，二次取0.8。

（五）水源热泵机组

水源热泵机组的选择应符合下列要求：

（1）水源热泵机组的水源应综合考虑工艺冷却水的水质、压力、温度及水源可靠性等因素合理选取。水源总水量应取夏季总水量与冬季总水量中的较大者。

（2）制冷运行时，水源宜采用工艺循环冷却水的出水作为水源热泵机组的冷却水，水源热泵机组入口水温不宜大于32℃；制热运行时，宜采用出汽轮机凝汽器的循环冷却水回水或工艺闭式冷却水作为热源水，其水温一般不宜低于10℃。

（3）水源进出机组的温差不宜低于5℃，且应满足水源热泵机组的要求。

（4）水源的水质应达到循环冷却水的水质标准，循环冷却水的水质标准见本章第五节。

（5）当采用工艺循环冷却水作为水源时，宜设置独立的循环水泵；当采用工艺闭式冷却水等水压较高的工艺冷却水作为水源时，宜设置减压阀，以满足系统耐压要求。

（6）多台水源热泵机组并联使用时，应确保各机组水源流量均匀。直接使用水源水时，应在水系统上预留水源热泵机组清洗用旁通管。

（六）溴化锂吸收式冷水机组

溴化锂吸收式冷水机组的选择应符合下列要求：

（1）当余热、废热热源压力不低于0.03MPa的蒸汽或温度不低于80℃的热水，且热源供应可靠、稳定时，应采用单效溴化锂吸收式冷水机组。

（2）当热电联产项目采用背压式汽轮机时，可采用供热蒸汽作为双效溴化锂吸收式冷水机组的热源。

（3）双效溴化锂吸收式冷水机组宜采用较低等级的汽轮机抽汽作为热源，蒸汽压力不宜低于0.4MPa。汽源应从两台机组公用母管上接出，当从单元机组母管上接出汽源时，应从另一台机组单元母管上接出备用汽源。

（4）蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组的蒸汽压力应考虑机组发生器入口蒸汽电动调节阀的压力损失。

（5）双效蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组单机制冷量不宜小于350kW。

（6）溴化锂吸收式冷水机组的热源参数、名义工况和性能参数、变工况时的使用范围应满足表9-13～表9-15的规定。

（7）燃气-蒸汽联合循环电厂不应采用天然气作为热源驱动直燃型溴化锂机组来供冷、供热。

表9-13　溴化锂吸收式冷水机组的热源参数

机组类型		热源参数
蒸汽型	单效	蒸汽压力：0.1MPa
	双效	蒸汽压力：0.4、0.6、0.8MPa
热水型	单效	热水温度：85～140℃
	双效	热水温度：>140℃

表9-14　溴化锂吸收式冷水机组名义工况和性能参数

机组	名义工况			性能参数
	冷（温）水进/出口温度（℃）	冷却水进/出口温度（℃）	蒸汽（饱和）压力（MPa）	单位制冷量蒸汽耗量［kg/（h·kW）］
蒸汽单效型	12/7	32/40	0.1	≤2.17
蒸汽双效型	12/7	32/38	0.4	≤1.40
			0.6	≤1.31
			0.8	≤1.28
热水型	—	t_{h1}（进口）/t_{h2}（出口）	—	—

注　1. 机组名义工况时的冷水侧污垢系数为0.018m²·℃/kW，冷却水侧污垢系数为0.044m²·℃/kW。
2. 蒸汽压力指发生器或高压发生器进口处的压力。
3. 热水进/出口温度由制造厂和用户协商确定。

表9-15　溴化锂吸收式冷水机组变工况时的范围

参数		名义工况	使用范围	间隔值
冷水出口温度（℃）		7	5～10	1
冷却水进口温度（℃）		32	24～34	2
蒸汽单效型	蒸汽压力（MPa）	0.1	0.08～0.12	0.01
蒸汽双效型		0.4	0.35～0.45	0.025
		0.6	0.50～0.65	0.05
		0.8	0.65～0.85	
热水型	热水进口温度t_{h1}（℃）	选定值	$t_{h1}{}^{+7}_{-3}$	2

注　本表摘自GB/T 18431—2014《蒸汽和热水型溴化锂吸收式冷水机组》。

（七）蒸发式冷水机组

蒸发冷却是充分利用了干热气候条件下存在的干、湿球温差作为制冷的驱动能量，在夏季空气调节室外计算湿球温度小于 23℃的干燥地区制取的 16～18℃的高温冷水，相比传统的机械电制冷具有明显的节能效果。因此在符合使用蒸发冷却条件地区的发电厂，当采用集中供冷方案时应优先采用蒸发式冷水机组作为通风、空气调节系统的集中冷源。

蒸发式冷水机组通常有直接蒸发式冷水机组、间接蒸发式冷水机组和间接-直接蒸发式冷水机组。

直接蒸发式冷水机组冷却原理同开式冷却塔，间接蒸发式冷水机组冷却原理与闭式冷却塔相同。间接-直接蒸发式冷水机组的原理：室外状态为 W_x 的空气经过间接空气冷却器等湿冷却到 W 后，送到填料段与喷淋水进行逆流热湿交换，热湿交换后的水温下降到介于室外空气的湿球温度 t_s 与露点温度 t_L 之间。间接-直接蒸发式冷水机组的流程如图 9-2 所示。

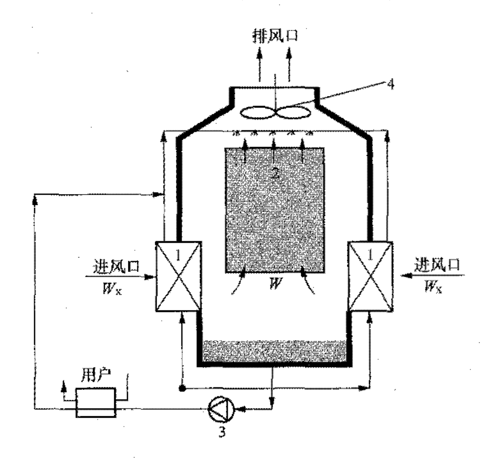


图 9-2 间接-直接蒸发式冷水机组的流程图
1—间接空气冷却器；2—空气-水直接接触逆流湿填料塔；3—循环水泵；4—风机

蒸发式冷水机组的形式应根据室外空气计算参数确定，判断条件应符合表 9-16 的规定。

表 9-16 适宜蒸发式冷水机组的形式及其判断条件

适宜的蒸发冷却冷水机组形式	直接蒸发式冷水机组或间接蒸发式冷水机组	间接-直接蒸发式冷水机组
判断条件	$\frac{t_w-18}{t_w-t_s}\leqslant 80\%$	$80\%\leqslant\frac{t_w-21}{t_w-t_s}\leqslant 120\%$

注 1. 18、21 为蒸发式冷水机组出水温度设计值，℃。
2. 本表摘自 GB 50019—2015。

蒸发式冷水机组的供水温度、供回水温差应根据当地的气象参数、使用场合、高温冷水系统方式、末端设备等条件来确定。

1. 气象参数

蒸发式冷水机组供水温度主要与室外空气的湿球温度与露点温度有关，其供水温度计算式如下：

直接蒸发式冷水机组（开式冷却塔）为

$$t=t_s+3.5℃ \tag{9-6}$$

式中 t——蒸发式冷水机组供水温度，℃；

t_s——蒸发式冷水机组入口空气湿球温度，℃。

间接蒸发式冷水机组（闭式冷却塔）为

$$t=t_s+5℃ \tag{9-7}$$

间接-直接蒸发式冷水机组为

$$t=t_1+\frac{t_s-t_1}{2}℃ \tag{9-8}$$

式中 t_l——蒸发式冷水机组入口空气露点温度，℃。

2. 使用场合

当高温冷水用于空气调节系统时，应以当地夏季空气调节室外计算干球温度及湿球温度确定冷水系统的供水温度；仅用于降温通风系统时，如汽机房、电气设备房等显热负荷较大，但散湿量较小或无散湿量的热车间，宜以当地夏季通风室外计算温度与室外计算相对湿度所对应的湿球温度与露点温度作为冷水系统供水温度的计算依据。

表 9-17 是根据 GB 50736—2012 中夏季通风室外计算干球温度和夏季通风计算相对湿度所对应的湿球温度和露点温度为参数而得出部分干噪地区蒸发式冷水机组的供水温度。

当工程所在地海拔较高时，当地气象参数可按下列规定修正：

表 9-17 干燥地区蒸发式冷水机组供水温度

省份	城市	夏季通风室外设计参数			冷水机组供水温度（℃）		
		干球温度（℃）	湿球温度（℃）	露点温度（℃）	直接	间接	间接-直接
内蒙古	呼和浩特	26.5	18.4	14.6	—	—	16.5
	包头	27.4	18.2	13.7	—	—	16.0
	东胜	24.8	16.0	11.4	19.5	—	16.4
	满洲里	24.1	17.2	13.6	—	—	15.4
	海拉尔	24.3	17.7	14.4	—	—	16.1
	临河	28.4	18.1	13.1	—	—	15.6
	集宁	23.8	16.3	12.5	19.8	—	14.4
	乌兰浩特	27.1	20.3	17.3	—	—	18.8
	一连浩特	27.9	16.5	10.2	20.0	—	13.4
	锡林浩特	26.0	17.3	12.8	—	—	15.1

续表

省份	城市	夏季通风室外设计参数			冷水机组供水温度（℃）		
		干球温度（℃）	湿球温度（℃）	露点温度（℃）	直接	间接	间接-直接
山西	大同	26.4	18.5	14.8	—	—	16.7
	阳泉	28.2	21.1	18.3	—	—	19.7
	右玉	24.5	17.0	13.4	—	—	15.2
	榆社	26.8	19.9	17.0	—	—	18.5
	原平	27.6	20.3	17.2	—	—	18.8
	离石	28.1	20.5	17.3	—	—	18.9
甘肃	兰州	26.5	17.7	13.6	—	—	15.7
	酒泉	26.3	16.4	11.3	19.9		13.9
	平凉	25.6	19.0	16.2	—	—	17.6
	天水	26.9	20.0	17.1	—	—	18.6
	武都	28.3	20.6	17.6	—	—	19.1
	张掖	26.9	16.4	11.0	19.9	—	13.7
	靖远	26.7	18.5	14.8	—	—	16.7
	永昌	23	14.8	10.4	18.3	19.8	12.6
	西峰镇	24.6	18.3	15.5	—	—	16.9
	临兆	23.3	16.7	13.8	—	—	15.3
	武威	26.4	16.8	12.1	—	—	14.5
	临夏	22.8	16.6	13.9	—	—	15.3
	合作	17.9	11.8	8.5	15.3	16.8	10.2
陕西	延安	28.1	20.5	17.3	—	—	18.9
	榆林	28	19.0	15.0	—	—	17.0
宁夏	银川	27.6	19.3	15.6	—	—	17.5
	惠农	28.0	18.4	13.9	—	—	16.2
	同心	27.7	17.7	12.9	—	—	15.3
	固原	23.3	16.5	13.4	20.0	—	15.0
	中卫	27.2	18.7	14.9	—	—	16.8
青海	西宁	21.9	14.3	10.4	17.8	19.3	12.4
	玉树	17.3	10.5	6.8	14.0	15.5	8.7
	格尔木	21.6	10.6	3.3	14.1	15.6	7.0
	河南	14.9	9.7	6.7	13.2	14.7	8.2
	共和	19.8	12.4	8.5	15.9	17.4	10.5
	达日	13.4	8.2	5.1	11.7	13.2	6.7
	祁连	18.3	11.2	7.1	14.7	16.2	9.2
	民和	24.5	16.9	13.4	—	—	15.2

续表

省份	城市	夏季通风室外设计参数			冷水机组供水温度（℃）		
		干球温度（℃）	湿球温度（℃）	露点温度（℃）	直接	间接	间接-直接
新疆	乌鲁木齐	27.5	16.5	10.3	20.0	—	13.4
	克拉玛依	30.6	17.1	8.9	—	—	13.0
	吐鲁番	36.2	21.1	13.6	—	—	17.4
	哈密	31.5	18.1	10.8	—	—	14.5
	和田	28.8	17.7	12.3	—	—	15.0
	阿勒泰	25.5	16.8	12.0	—	—	14.4
	喀什	28.8	17.3	11.4	—	—	14.4
	伊宁	27.2	18.5	14.2	—	—	16.4
	库尔勒	33	18.1	12.0	—	—	15.1
	奇台	27.9	16.8	10.6	—	—	13.7
	精可	30	19.6	14.4	—	—	17.0
	阿克苏	28.4	18.1	13.1	—	—	15.6
	塔城	27.5	17.6	12.3	—	—	15.0
贵州	乌恰	23.6	11.7	3.5	15.2	16.7	7.6
	毕节	25.5	20.4	18.4	—	—	19.4
	安顺	24.8	20.5	19.0	—	—	19.8
	兴仁	25.3	20.8	19.2	—	—	20.0
	盘县	25.5	20.4	18.4	—	—	19.4
云南	昆明	23.0	18.5	16.8	—	—	17.7
	保山	24.2	19.5	17.7	—	—	18.6
	昭通	23.5	18.2	16.1	—	—	17.2
	丽江	22.3	16.4	13.9	19.9	—	15.2
	蒙自	26.7	21.0	18.8	—	—	19.9
	沾益	23.3	18.8	17.1	—	—	18.0
	玉溪	24.5	19.6	17.7	—	—	18.7
	临沧	25.2	20.7	19.1	—	—	19.9
	楚雄	24.6	18.9	16.6	—	—	17.8
	大理	23.3	18.2	16.1	—	—	17.2
	泸水	22.4	19.5	18.4	—	—	19.0
	香格里拉	17.9	13.0	10.8	16.5	18.0	11.9
西藏	拉萨	19.2	10.0	4.6	13.5	15.0	7.3
	昌都	21.6	13.4	9.5	16.9	18.4	11.5
	那曲	13.3	7.6	3.7	11.1	12.6	5.7
	日喀则	18.9	10.0	5.0	13.5	15.0	7.5
	林芝	19.9	14.5	12.2	18.0	19.5	13.4
	狮泉河	17.0	6.8	–0.2	10.3	11.8	3.3
	错那	11.2	7.6	5.5	11.1	12.6	6.7

（1）大气压为

$$p = p_0\left(1 - \frac{h}{44330}\right)^{5.255} \quad (9\text{-}9)$$

式中 p——当地大气压，Pa；

p_0——标准大气压，取 101325Pa；

h——当地海拔，m。

（2）相对湿度为

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi \quad (9\text{-}10)$$

式中 φ——空气相对湿度，%；

φ_0——标准大气压下的空气相对湿度，%；

$\Delta\varphi$——相对湿度修正值，%。

其中，$\Delta\varphi$ 计算式为

$$\Delta\varphi = \frac{2.17\times10^{-4}\Delta p(t - t_s)}{(20 + t)t} \quad (9\text{-}11)$$

式中 Δp——标准大气压与当地大气压之差，$\Delta p = p_0 - p$，Pa；

t——当地空气干球温度，℃；

t_s——当地空气湿球温度，℃。

（3）湿球温度为

$$t_s = t_{s0} - \Delta t_s \quad (9\text{-}12)$$

式中 t_{s0}——标准大气压下的空气湿球温度，℃；

Δt_s——热力学湿球温度修正值，℃。

其中，Δt_s 计算式为

$$\Delta t_s = 5\times10^{-5}(1 - \varphi)\Delta p \quad (9\text{-}13)$$

3. 高温冷水系统方式

蒸发式冷水机组与新风机组（外冷型蒸发冷却空气处理机组）、显热末端装置的连接方式通常有三种：

（1）独立式。冷水机组供给显热末端的冷水直接回到冷水机组，为提高空气调节系统末端装置的换热效率，宜将供回水温差限制在 5℃以内。新风机组不利用末端回水而采用蒸发空气处理机组来处理新风。独立式系统示意如图 9-3 所示。

（2）串联式。冷水机组供给显热末端的冷水经显热末端利用后再通过新风机组的空气冷却器预冷新风，然后回到冷水机组，使高温冷水得到近 10℃的温降。该形式的系统由于提高的回水温度，使冷水机组更多地利用干空气的能量，提高整体新风冷却的效率，相比独立式系统进一步降低冷水机组的装机容量，减小管道输送系统设备。串联式系统示意如图 9-4 所示。

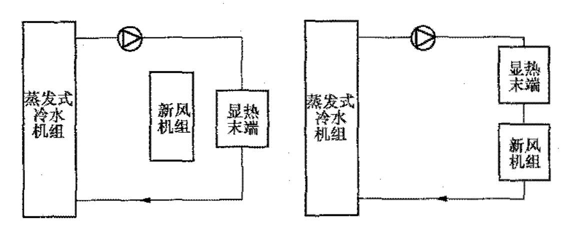


图 9-3 独立式系统示意图　图 9-4 串联式系统示意图

（3）并联式。冷水机组制取的冷水分别单独供给显热末端与新风机组的空气冷却器，然后显热末端与新风机组的回水混合后回到冷水机组。该系统相比串联式系统，提高了新风机组的降温能力。并联式的特点是冷水机组的供回水温差较小，冷水流量较大。并联式系统示意如图 9-5 所示。

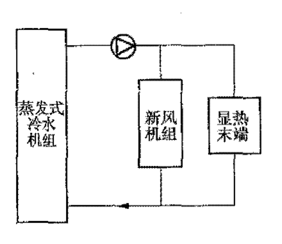


图 9-5 并联式系统示意图

目前，常规蒸发式冷水机组供回水温差有两种规格可选：一种 5℃，另一种 10℃。5℃供回水温差的冷水机组适用于独立式和并联式连接；10℃供回水温差的冷水机组适用于串联式连接。

4. 末端设备

高温冷水系统末端设备主要有全空气系统中的空气处理机组、温湿度独立控制系统中的显热风机盘管+新风机组及辐射末端+新风机组。辐射末端装置主要有辐射地板、辐射墙面、毛细管网辐射吊顶等。

各类末端设备供水温度及供回水温差宜符合下列要求：

（1）空气调节系统新风预冷及电气设备间降温通风系统的供水温度不宜高于 21℃，供回水温差不应小于 5℃，供水温度较低时，宜增大供回水温差。

（2）采用温湿度独立控制系统时，供水温度不宜低于 16℃；采用串联方式时供回水温差不宜大于 10℃；采用并联方式时供回水温差不宜大于 5℃。

（3）采用辐射供冷末端设备时，供水温度应以末端设备表面不结露为原则确定，供回水温差不应小于 2℃。

蒸发式冷水机组的选型，应符合下列要求：

（1）蒸发式冷水机组的供水温度、供回水温差及循环水量应符合设计值的要求。

（2）蒸发式冷水机组宜采用模块化产品。

（3）应选用低噪声型蒸发式冷水机组。当噪声达不到环境噪声标准要求时，应采用降噪措施。

（4）蒸发式冷水机组应采用阻燃型材料制作，并应符合防火要求。

五、冷源设备配置

制冷站冷源设备的配置应符合下列原则：

（1）主厂房区域冷水（热泵）机组的数量宜按 3×50%配置。当采用模块式冷水（热泵）机组时，宜按单级模块配置 1～2 块备用模块。

（2）当发电厂主厂房区域空气调节负荷主要以集中控制室、电子设备室空气调节负荷为主，且总装机容量不大于 350kW 时，冷水（热泵）机组的数量可按 2×100%配置。

（3）厂前区冷水（热泵）机组台数不宜少于2台，一般不考虑备用。

（4）在主厂房区域制冷站采用溴化锂吸收式冷水机组集中供冷，且发电厂基建或检修时蒸汽源不能保证的情况下，宜设置一台电动式冷水机组，其制冷量宜不小于主厂房各工艺性集中空气调节系统及集中控制室集中空气调节系统的冷负荷之和。

（5）当主厂房区域制冷站内冷水机组利用工艺冷却水作为冷却水或工艺冷却水作为水源热泵机组的水源时，应考虑发电机组调试阶段水源不能保证的情况，可采用一台水冷冷水机组+独立冷却塔方案或采用一台风冷（热泵）冷水机组方案。

（6）采用蒸发式冷水机组供冷时应符合下列要求：

1）主厂房区域，当采用模块式蒸发式冷水机组时，设备单元数按N+1配置，且备用单元制冷量不宜超过总装机制冷量的25%；当采用整体式直接蒸发式冷水机组时，设备台数宜按3×50%配置。

2）厂前区建筑的蒸发式冷水机组不设备用。当采用整体式直接蒸发式冷水机组时，设备台数不宜少于2台。

3）辅助、附属建筑分散布置的蒸发式冷水机组，宜选用模块式蒸发式冷水机组，且单元数宜按N+1配置，当设备单元数少于2台时，应按2台选择。

第三节　冷（热）水系统

一、冷（热）水供回水温度

冷（热）水供回水温度应根据冷水机组及空气调节末端设备类型确定，并宜符合下列要求：

（1）电动机驱动的压缩式冷水（热泵）机组及溴化锂吸收式冷水机组的冷水供/回水温度宜采用7/12℃。

（2）蒸发式冷水机组的冷水供水温度及供回水温差应符合本章第二节的要求。

（3）风冷热泵冷水机组、水源热泵机组的热水供/回水温度宜取45/40℃。

（4）当空气处理设备冷热盘管共用时，空气调节热水供水温度不宜大于60℃，供回水温差宜取10℃。

（5）当空气处理设备冷热盘管分设时，空气调节热水供回水温度宜与集中供暖系统供回水温度保持一致。

二、空气调节冷（热）水系统形式

（一）空气调节冷（热）水系统制式

（1）除冷源采用蒸发式冷水机组外，空气调节冷（热）水系统应采用闭式循环系统。当空气调节系统仅要求按季节进行供冷和供热转换时，且热水温度不高于60℃时，空气调节冷（热）水系统应采用二管制。

（2）当采用蒸发式冷水机组时，冷水系统的形式宜按下列原则确定：

1）当蒸发式冷水机组布置场所周围空气质量较差时，直接蒸发冷水机组宜采用闭式循环系统。采用间接-直接蒸发式冷水机组时，宜设置中间板式换热器向空气调节末端供冷。

2）周围空气环境清洁的厂前区建筑可采用开式循环系统。开式循环系统，应采用四管制冷（热）水系统。

3）末端设备采用辐射供冷时，冷水系统应采用闭式循环系统。

（二）空气调节冷（热）水系统设备配置及调节方式

（1）除设置一台冷水机组的小型单栋建筑项目外，不宜采用设置末端电动三通阀或末端未设置任何控制措施的定流量一次泵系统。

（2）各区域负荷侧管路压力损失相差不大时，宜采用一次泵压差旁通控制变流量系统。

（3）各区域负荷侧管路压力损失大于50kPa时，宜按各区域分别设置变频控制的二次泵。

（4）当冷水机组内部允许流量变化，且流量变化的速率满足机组安全运行要求时，经技术和经济比较后可采用冷水机组变流量方式。

目前主流冷水机组生产制造商的不少产品允许在一定的冷水流量变化范围内确保安全运行，这为一级泵变频变流量系统提供了设备保证，但其最小允许流量大约在额定流量的50%～70%，因此冷水泵的最低运行转速受限制。当冷水泵流量达到最小限值时，如果用户需求进一步下降，为保证系统安全运行，应设置压差旁通电动阀来保证冷水机组的最小限制流量。

（三）一次泵空气调节冷水系统

（1）当末端空气处理装置采用电动两通调节阀时，应在冷热源侧和负荷侧的集水器、分水器（或总供、回水管）之间设旁通管和电动旁通调节阀，旁通管和电动旁通调节阀的设计流量应取单台最大冷水机组的额定流量，如图9-6所示。

（2）冷水机组与冷水循环泵之间，宜采用一对一独立接管的连接方式；机组数量较少时，宜在各组设备连接管之间设置互为备用的手动转换阀，如图9-7及图9-8所示。

（3）冷水机组与冷水循环泵之间采取一对一连接有困难时，可采用共用集管的连接方式。当冷水泵停止运行时，应隔断对应冷水机组的冷水通路；当采用集中自动控制系统时，每台冷水机组的进水或出水管道上应设置与对应的冷水机组和水泵联锁开关的电动隔断阀，如图9-9所示。当主机采用容量大小不相同时，不宜采用共用集管的连接方式。

（四）（变流量）二次泵系统

（1）空气调节末端装置的回水支管上应采用电动两通调节阀。

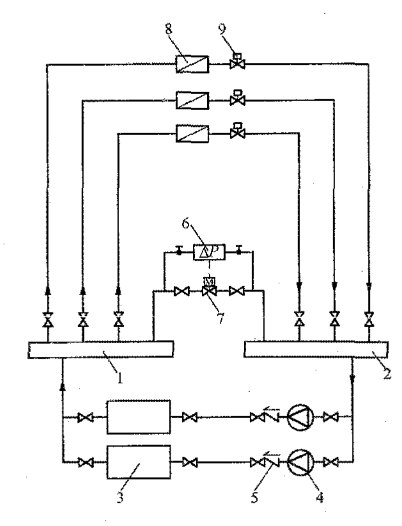


图 9-6 一次泵空气调节冷水系统示意图

1—分水器；2—集水器；3—冷水机组；4—定流量冷水循环泵；5—止回阀；6—压差控制器；7—电动旁通调节阀；8—末端空气处理装置；9—电动两通调节阀

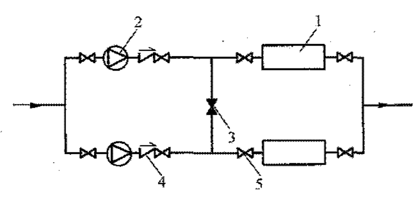


图 9-7 冷水机组和冷水循环泵一对一接管连接方式（无备用泵）和阀门配置示意图

1—冷水机组（蒸发器或冷凝器）；2—循环泵；3—常闭手动转换阀；4—止回阀；5—设备检修阀

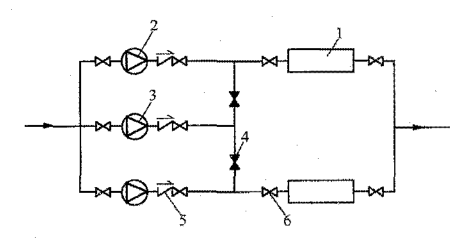


图 9-8 冷水机组和冷水循环泵一对一接管连接方式（设备用泵）和阀门配置示意图

1—冷水机组（蒸发器或冷凝器）；2—循环泵；3—备用泵；4—常闭手动转换阀；5—止回阀；6—设备检修阀

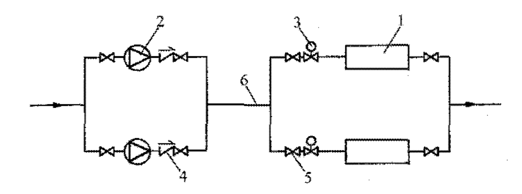


图 9-9 冷水机组和冷水循环泵之间共用集管连接方式和阀门配置示意图

1—冷水机组（蒸发器或冷凝器）；2—循环泵；3—电动隔断阀；4—止回阀；5—设备检修阀；6—共用集管

（2）冷热源侧供回水总管之间应设平衡管（旁通管或耦合管），平衡管上不设阀门，平衡管管径不宜小于总供、回水管管径；负荷侧各分区供、回水总管之间应设置压力控制器旁通管，如图 9-10 所示。为防止负荷侧流量低于一台变频水泵最低流量的情况发生，可在变频水泵两侧设置电动旁通调节阀，电动旁通调节阀的最大设计水流量应为一台变速泵的最小允许流量。

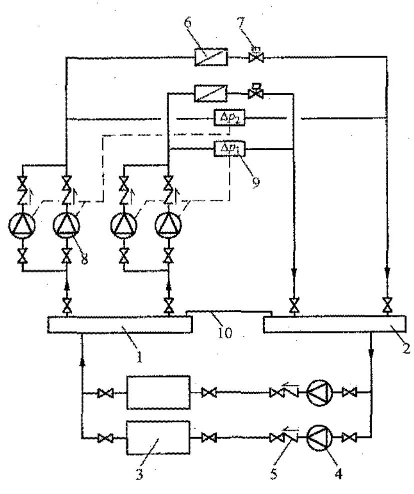


图 9-10 空气调节冷水二次泵系统示意图

1—分水器；2—集水器；3—冷水机组；4—定流量冷水循环泵；5—止回阀；6—末端空气处理装置；7—电动两通调节阀；8—变频调速二级冷水循环泵；9—压差控制器；10—平衡管

（3）一次泵与冷水机组之间的接管和转换、控制阀门的设置应符合一次泵空气调节冷水系统冷水机组与冷水循环泵之间的连接要求。

（五）水系统承压

空气调节水系统的冷水机组、末端设备及管路部件的工作压力不应大于其承压能力。空气调节设备及管道额定工作压力见表 9-18。

表 9-18 空气调节设备及管道额定工作压力

设备名称	额定压力（MPa）	设备名称	额定压力（MPa）
常规电压缩式冷水机组	1.0	中压阀门	2.5～1.6
溴化锂吸收式冷水机组	0.8	普通焊接钢管	1.0
空气表面式冷却器	1.6	加厚焊接钢管	1.6
风机盘管	1.6	直缝、螺旋缝焊接钢管	1.6
水泵壳体（填料密封）	1.0	无缝钢管	2.0
水泵壳体（机械密封）	1.6	螺纹管连接或锻铸铁管连接系统	控制在 1.0
低压阀门	1.6		

冷水泵宜安装在冷水机组蒸发器的进水口侧（水泵压入式）。当冷水机组进水侧承受的压力大于冷水机组蒸发器的承压能力，但系统静水压力在冷水机组蒸发器承压能力以内，且末端空气调节设备和管件、管路等能够承受系统压力时，可将水泵安装在冷水机组蒸发器的出水口侧（水泵抽吸式）。

（六）水力计算与管路平衡

1. 冷水系统设计流量

冷水系统设计流量计算式为

$$G=Q/(1.163\Delta t) \tag{9-14}$$

式中 G——冷水系统流量，m^3/h；

Q——冷水系统总冷负荷，kW；

Δt——供回水温差，℃。

2. 冷水系统的阻力

闭式冷水系统的阻力主要有冷水机组阻力、空气调节末端设备阻力、管路阻力（包括沿程阻力、局部阻力）、管路附件（包括集水器、分水器、水过滤器等）阻力和控制阀阻力。

初步设计时，闭式冷水系统干管宜按比摩阻200Pa/m来选管径。管网局部阻力可按系统沿程阻力的30%来估算。各种设备的阻力可按表9-19进行估算。

开式（蒸发冷却供冷）冷水系统的阻力计算见本章第四节。

表9-19 设备的阻力

设备名称		阻力（kPa）	备注
离心式冷水机组	蒸发器	30～80	
	冷凝器	50～80	
螺杆式冷水机组	蒸发器	30～80	
	冷凝器	50～80	
冷热水盘管		20～50	水流速0.8～1.5m/s
水过滤器		20～30	
吸收式冷热水机组	蒸发器	40～100	
	冷凝器	50～140	
热交换器		20～50	
风机盘管机组		10～20	随机组容量增大而增大
自动控制调节阀		30～50	
集水器、分水器		10	

施工图阶段闭式冷水系统的阻力应按以下方式计算：

（1）计算管段的比摩阻及沿程阻力可按式（9-15）、式（9-16）计算，比摩阻宜控制在R_j=0.2kPa/m内，供冷距离远时可取更低值。

1）计算管段的比摩阻计算式为

$$R_j=105\,C_h^{-1.85}d_j^{-4.87}q_s^{1.85} \tag{9-15}$$

式中 R_j——计算管段的比摩阻，kPa/m；

C_h——海澄-威廉系数，钢管闭式系统取C_h=120，开式系统取C_h=100；

d_j——管道计算内径，m；

q_s——设计秒流量；m^3/s。

2）计算管段的沿程阻力计算式为

$$H_j=R_jl \tag{9-16}$$

式中 H_j——计算管段的沿程阻力，kPa；

l——计算管段的长度，m。

计算管段比摩阻可由表9-20直接查得。

（2）系统管道的局部阻力按以下方式计算。

1）局部阻力可用某一长度、相同管径的直管道阻力来取代，称为局部阻力当量长度。一般阀门和其他管件的局部阻力当量长度见表9-21。

2）自控电动阀门阻力计算式为

$$\Delta p_v=(316G_s/K_v)^2 \tag{9-17}$$

式中 Δp_v——阀门前后的压降，Pa；

G_s——通过阀门的设计水量，m^3/h；

K_v——阀门的流通能力（阀全开时压降0.1MPa通过的水量）应根据产品提供的数据确定，m^3/h。

3）各种设备（包括冷水机组、空气调节末端设备、水过滤设备等）阻力应根据产品提供的数据确定。

（3）两管制水系统可按供冷流量确定管径，冬季空气调节热水系统的阻力可根据冷水管路阻力按式（9-18）估算

$$H_r=\alpha(G_r/G_l)\times2\times H_l+H_j \tag{9-18}$$

式中 H_r——冬季空气调节热水系统阻力，kPa；

α——在相同水量和管径时，热水由于黏滞系数小等因素的修正，可取α=0.9～0.95；

G_r——空气调节热水流量，m^3/h；

G_l——空气调节冷水流量，m^3/h；

H_l——空气调节冷水的管路阻力（不包括蒸发器阻力），kPa；

H_j——加热器阻力，kPa。

（4）空气调节水系统的水力平衡应符合下列要求：

1）应通过系统的合理布置和管径选择，以减少并联环路之间的压力损失差。

2）当异程并联环路的计算不平衡率为15%时，应设置可测量数据的流量调节阀或水力平衡阀。

表 9-20 管道比摩阻

水流速（m/s）	管径	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN207	DN259	DN309	DN357	DN404
	内径	15.75	21.25	27.00	35.75	41.00	53.00	68.00	80.50	106.00	125.00	150.00	207.00	259.00	309.00	357.00	404.00
0.20	W	0.14	0.26	0.41	0.72	0.95	1.59	2.61	3.66	6.35	8.84	12.72	24.23	37.93	53.99	72.07	92.30
	R_1	74.8	49.7	36.0	24.8	20.7	14.8	10.7	8.6	6.0	4.9	3.9	2.6	1.9	1.6	1.3	1.1
	R_2	90.2	59.1	42.3	28.8	23.9	16.9	12.1	9.7	6.8	5.5	4.3	2.8	2.1	1.7	1.4	1.2
0.25	W	0.18	0.32	0.52	0.90	1.19	1.99	3.27	4.58	7.94	11.04	15.90	30.29	47.42	67.49	90.09	115.37
	R_1	111.2	74.0	53.7	37.0	30.9	22.0	16.0	12.8	9.0	7.3	5.8	3.9	2.9	2.3	2.0	1.7
	R_2	136.7	89.6	64.2	43.7	36.3	25.7	18.4	14.7	10.3	8.3	6.6	4.3	3.3	2.6	2.2	1.9
0.30	W	0.21	0.38	0.62	1.08	1.43	2.38	3.92	5.50	9.53	13.25	19.09	36.35	56.90	80.99	108.11	138.45
	R_1	154.4	102.9	74.6	51.4	43.0	30.7	22.2	17.9	12.6	10.2	8.1	5.4	4.1	3.3	2.7	2.4
	R_2	192.7	126.3	90.6	61.6	51.2	36.2	26.0	20.8	14.5	11.7	9.3	6.1	4.6	3.7	3.1	2.6
0.35	W	0.25	0.45	0.72	1.26	1.66	2.78	4.58	6.41	11.12	15.46	22.27	42.40	66.38	94.49	126.12	161.52
	R_1	204.3	136.2	98.9	68.2	57.0	40.8	29.5	23.8	16.7	13.6	10.8	7.2	5.4	4.4	3.7	3.1
	R_2	258.2	169.2	121.4	82.6	68.6	48.6	34.9	27.9	19.5	15.7	12.4	8.2	6.2	4.9	4.1	3.5
0.40	W	0.28	0.51	0.82	1.45	1.90	3.18	5.23	7.33	12.71	17.67	25.45	48.46	75.87	107.99	144.14	184.59
	R_1	260.9	174.1	126.4	87.2	72.9	52.2	37.8	30.4	21.4	17.4	13.8	9.2	7.0	5.6	4.7	4.0
	R_2	333.1	218.4	156.6	106.6	88.6	62.7	45.0	36.0	25.1	20.3	16.0	10.6	8.0	6.4	5.3	4.6
0.45	W	0.32	0.57	0.93	1.63	2.14	3.57	5.88	8.25	14.30	19.88	28.63	54.52	85.35	121.49	162.16	207.67
	R_1	324.3	216.4	157.2	108.5	90.7	64.9	47.0	37.9	26.7	21.7	17.2	11.5	8.7	7.0	5.8	5.0
	R_2	417.5	273.8	196.4	133.7	111.0	78.6	56.5	45.2	31.5	25.5	20.1	13.3	10.0	8.0	6.7	5.7
0.50	W	0.35	0.64	1.03	1.81	2.38	3.97	6.54	9.16	15.88	22.09	31.81	60.58	94.83	134.98	180.18	230.74
	R_1	394.3	263.3	191.3	132.0	110.3	79.0	57.3	46.1	32.5	26.4	21.0	14.0	10.6	8.5	7.1	6.1
	R_2	511.4	335.4	240.6	163.8	136.0	96.4	69.2	55.4	38.6	31.2	24.7	16.3	12.3	9.8	8.2	7.0
0.55	W	0.39	0.70	1.13	1.99	2.61	4.37	7.19	10.08	17.47	24.30	34.99	66.63	104.32	148.48	198.19	253.82
	R_1	471.0	314.5	228.6	157.8	131.9	94.5	68.5	55.2	38.9	31.6	25.1	16.8	12.7	10.2	8.5	7.3
	R_2	614.7	403.1	289.2	196.9	163.6	115.9	83.2	66.6	46.5	37.5	29.7	19.6	14.8	11.8	9.9	8.4

续表

水流速 (m/s)	管径	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN207	DN259	DN309	DN357	DN404
	内径	15.75	21.25	27.00	35.75	41.00	53.00	68.00	80.50	106.00	125.00	150.00	207.00	259.00	309.00	357.00	404.00
0.60	W	0.42	0.77	1.24	2.17	2.85	4.77	7.84	10.99	19.06	26.51	38.17	72.69	113.80	161.98	216.21	276.89
	R_1	554.4	370.3	269.1	185.9	155.4	111.3	80.7	65.0	45.8	37.2	29.6	19.8	15.0	12.0	10.1	8.6
	R_2	727.5	477.1	342.3	233.1	193.6	137.1	98.5	78.8	55.0	44.4	35.1	23.3	17.5	14.0	11.7	10.0
0.65	W	0.46	0.83	1.34	2.35	3.09	5.16	8.50	11.91	20.65	28.72	41.35	78.75	123.28	175.48	234.23	299.96
	R_1	644.5	430.5	312.9	216.1	180.7	129.4	93.9	75.6	53.3	43.3	34.4	23.0	17.4	14.0	11.7	10.1
	R_2	849.8	557.4	399.8	272.3	226.2	160.2	115.0	92.1	64.3	51.9	41.0	27.2	20.4	16.4	13.6	11.7
0.70	W	0.49	0.89	1.44	2.53	3.33	5.56	9.15	12.83	22.24	30.93	44.53	84.81	132.77	188.98	252.25	323.04
	R_1	741.2	495.2	360.0	248.7	207.9	148.9	108.0	87.0	61.3	49.8	39.6	26.5	20.0	16.1	13.5	11.6
	R_2	981.5	643.8	461.8	314.5	261.2	185.1	132.9	106.4	74.3	60.0	47.4	31.4	23.6	18.9	15.8	13.5
0.75	W	0.53	0.96	1.55	2.71	3.56	5.96	9.81	13.74	23.83	33.13	47.71	90.86	142.25	202.48	270.27	346.11
	R_1	844.6	564.3	410.3	283.4	237.0	169.8	123.2	99.2	69.9	56.8	45.2	30.2	22.9	18.4	15.4	13.2
	R_2	1122.7	736.4	528.3	359.8	298.9	211.7	152.0	121.7	85.0	68.6	54.2	35.9	27.0	21.6	18.0	15.4
0.80	W	0.56	1.02	1.65	2.89	3.80	6.35	10.46	14.66	25.42	35.34	50.89	96.92	151.73	215.97	288.28	369.19
	R_1	954.7	637.9	463.8	320.5	267.9	192.0	139.3	112.2	79.1	64.2	51.1	34.1	25.9	20.8	17.4	14.9
	R_2	1273.4	835.2	599.2	408.1	339.0	240.1	172.5	138.1	96.4	77.8	61.5	40.7	30.7	24.5	20.5	17.5
0.85	W	0.60	1.09	1.75	3.07	4.04	6.75	11.11	15.57	27.00	37.55	54.07	102.98	161.22	229.47	306.30	392.26
	R_1	1071.4	716.0	520.6	359.7	300.7	215.5	156.4	126.0	88.8	72.1	57.3	38.3	29.0	23.3	19.5	16.8
	R_2	1433.5	940.3	674.6	459.5	381.6	270.4	194.2	155.5	108.5	87.6	69.3	45.9	34.5	27.6	23.0	19.7
0.90	W	0.63	1.15	1.86	3.25	4.28	7.15	11.77	16.49	28.59	39.76	57.26	109.04	170.70	242.97	324.32	415.34
	R_1	1194.8	798.5	580.7	401.2	335.4	240.4	174.4	140.6	99.1	80.5	64.0	42.8	32.4	26.0	21.8	18.7
	R_2	1603.1	1051.5	754.4	513.8	426.8	302.4	217.1	173.9	121.3	98.0	77.5	51.3	38.6	30.9	25.8	22.1
0.95	W	0.67	1.21	1.96	3.43	4.52	7.55	12.42	17.41	30.18	41.97	60.44	115.10	180.18	256.47	342.34	438.41
	R_1	1324.9	885.5	643.9	445.0	372.0	266.6	193.5	155.9	109.9	89.2	71.0	47.5	35.9	28.9	24.2	20.8
	R_2	1782.1	1169.0	838.7	571.2	474.5	336.1	241.4	193.3	134.9	108.9	86.1	57.0	42.9	34.4	28.7	24.5

续表

水流速（m/s）	管径	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN207	DN259	DN309	DN357	DN404
	内径	15.75	21.25	27.00	35.75	41.00	53.00	68.00	80.50	106.00	125.00	150.00	207.00	259.00	309.00	357.00	404.00
1.00	W	0.70	1.28	2.06	3.61	4.75	7.94	13.07	18.32	31.77	44.18	63.62	121.15	189.67	269.97	360.35	461.48
	R_1	1461.6	976.9	710.5	491.0	410.5	294.2	213.5	172.0	121.3	98.5	78.3	52.4	39.7	31.9	26.7	22.9
	R_2	1970.6	1292.7	927.4	631.7	524.7	371.7	267.0	213.7	149.2	120.5	95.2	63.1	47.5	38.0	31.7	27.1
1.05	W	0.74	1.34	2.16	3.79	4.99	8.34	13.73	19.24	33.36	46.39	66.80	127.21	199.15	283.47	378.37	484.56
	R_1	1605.0	1072.8	780.2	539.2	450.8	323.1	234.5	189.0	133.2	108.2	86.0	57.5	43.6	35.0	29.3	25.2
	R_2	2168.3	1422.5	1020.6	695.2	577.4	409.1	293.8	235.2	164.2	132.6	104.8	69.4	52.2	41.8	34.9	29.9
1.10	W	0.77	1.40	2.27	3.98	5.23	8.74	14.38	20.15	34.95	48.60	69.98	133.27	208.63	296.96	396.39	507.63
	R_1	1755.0	1173.1	853.2	589.6	493.0	353.4	256.4	206.7	145.7	118.3	94.1	62.9	47.7	38.3	32.1	27.6
	R_2	2376.0	1558.6	1118.3	761.7	632.7	448.2	321.9	257.7	179.9	145.3	114.8	76.1	57.2	45.8	38.2	32.7
1.15	W	0.81	1.47	2.37	4.16	5.47	9.13	15.04	21.07	36.53	50.81	73.16	139.33	218.12	310.46	414.41	530.71
	R_1	1911.7	1277.9	929.4	642.6	537.1	385.0	279.4	225.2	158.8	128.9	102.5	68.6	51.9	41.8	35.0	30.0
	R_2	2592.9	1700.9	1220.4	831.2	690.4	489.2	351.3	281.3	196.3	158.5	125.3	83.0	62.5	50.0	41.7	35.7
1.20	W	0.84	1.53	2.47	4.34	5.70	9.53	15.69	21.99	38.12	53.01	76.34	145.38	227.60	323.96	432.43	553.77
	R_1	2075.1	1387.2	1008.9	697.3	583.0	417.9	303.3	244.4	172.3	140.0	111.3	74.5	56.4	45.3	38.0	32.6
	R_2	2819.2	1849.4	1326.9	903.8	750.7	531.9	382.0	305.8	213.5	172.4	136.3	90.3	67.9	54.4	45.3	38.8
1.25	W	0.88	1.60	2.58	4.52	5.94	9.93	16.34	22.90	39.71	55.22	79.52	151.44	237.08	337.46	450.44	576.85
	R_1	2245.1	1500.9	1091.6	754.5	630.9	452.2	328.2	264.5	186.5	151.5	120.5	80.6	61.0	49.1	41.1	35.3
	R_2	3055.1	2004.1	1437.9	979.4	813.5	576.4	414.0	331.4	231.3	186.8	147.7	97.8	73.6	58.9	49.1	42.1
1.70	W	1.19	2.17	3.50	6.14	8.08	13.50	22.23	31.15	54.01	75.10	108.15	205.96	322.43	458.94	612.60	784.52
	R_1	4074.8	2724.4	1981.9	1370.0	1145.6	821.3	596.1	480.5	338.8	275.2	218.9	146.4	110.9	89.2	74.7	64.2
	R_2	5603.3	3675.8	2637.4	1796.5	1492.2	1057.3	759.3	608.0	424.4	342.7	270.9	179.5	135.1	108.1	90.2	77.2
1.75	W	1.23	2.23	3.61	6.32	8.32	13.90	22.88	32.06	55.60	77.31	111.33	212.02	331.92	472.44	630.62	807.60
	R_1	4311.4	2882.6	2097.0	1449.5	1212.1	869.0	630.7	508.4	358.5	291.2	231.6	155.0	117.4	94.4	79.0	67.9
	R_2	5933.7	3892.6	2792.9	1902.4	1580.2	1119.6	804.1	643.9	449.4	362.9	286.9	190.1	143.0	114.5	95.5	81.8

续表

水流速 (m/s)	管径	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN207	DN259	DN309	DN357	DN404
	内径	15.75	21.25	27.00	35.75	41.00	53.00	68.00	80.50	106.00	125.00	150.00	207.00	259.00	309.00	357.00	404.00
1.80	W	1.26	2.30	3.71	6.50	8.56	14.30	23.53	32.98	57.18	79.52	114.51	218.08	341.40	485.94	648.64	830.67
	R_1	4554.6	3045.3	2215.3	1531.4	1280.6	918.0	666.3	537.1	378.8	307.6	244.7	163.7	124.0	99.7	83.5	71.7
	R_2	6273.6	4115.6	2952.9	2011.4	1670.8	1183.8	850.2	680.7	475.2	383.7	303.4	200.9	151.2	121.0	100.9	86.5
1.85	W	1.30	2.36	3.81	6.69	8.79	14.69	24.19	33.90	58.77	81.73	117.69	224.13	350.88	499.44	666.66	853.74
	R_1	4804.5	3212.4	2336.9	1615.4	1350.9	968.4	702.9	566.6	399.6	324.5	258.1	172.7	130.8	105.2	88.1	75.7
	R_2	6623.0	4344.8	3117.4	2123.4	1763.8	1249.7	897.6	718.7	501.6	405.1	320.3	212.1	159.6	127.8	106.6	91.3
1.90	W	1.33	2.43	3.92	6.87	9.03	15.09	24.84	34.81	60.36	83.94	120.87	230.19	360.37	512.94	684.67	876.82
	R_1	5061.0	3384.0	2461.7	1701.7	1423.0	1020.2	740.5	596.9	420.9	341.9	271.9	181.9	137.8	110.8	92.8	79.7
	R_2	6981.8	4580.2	3286.3	2238.5	1859.4	1317.4	946.2	757.6	528.8	427.1	337.6	223.6	168.3	134.7	112.3	96.2
1.95	W	1.37	2.49	4.02	7.05	9.27	15.49	25.49	35.73	61.95	86.15	124.05	236.25	369.85	526.44	702.69	899.89
	R_1	5324.2	3560.0	2589.8	1790.3	1497.1	1073.3	779.0	628.0	442.9	359.7	286.1	191.4	145.0	116.6	97.6	83.9
	R_2	7350.1	4821.8	3459.7	2356.6	1957.5	1386.9	996.1	797.6	556.7	449.6	355.4	235.4	177.2	141.8	118.3	101.3
2.00	W	1.40	2.55	4.12	7.23	9.51	15.88	26.15	36.65	63.54	88.36	127.23	242.31	379.34	539.93	720.71	922.97
	R_1	5594.1	3740.5	2721.1	1881.0	1573.0	1127.7	818.6	659.8	465.3	378.0	300.3	201.1	152.3	122.5	102.6	88.2
	R_2	7727.9	5069.6	3637.5	2477.7	2058.1	1458.2	1047.3	838.6	585.3	472.7	373.7	247.5	186.3	149.1	124.4	106.5
2.05	W	1.44	2.62	4.23	7.41	9.74	16.28	26.80	37.56	65.13	90.57	130.42	248.36	388.82	553.43	738.73	946.04
	R_1	5870.6	3925.4	2855.6	1974.1	1650.8	1183.5	859.1	692.5	488.3	396.7	315.5	211.1	159.9	128.6	107.7	92.5
	R_2	8115.1	5323.6	3819.7	2601.9	2161.2	1531.3	1099.8	880.6	614.7	496.4	392.4	259.9	195.6	156.6	130.6	111.9
2.10	W	1.47	2.68	4.33	7.59	9.98	16.68	27.46	38.48	66.72	92.78	133.60	254.42	398.30	566.93	756.74	969.12
	R_1	6153.8	4114.7	2993.4	2069.3	1730.5	1240.6	900.5	725.9	511.9	415.8	330.7	221.3	167.6	134.8	112.0	97.0
	R_2	8511.8	5583.9	4006.5	2729.0	2266.9	1606.1	1153.6	923.7	644.7	520.7	411.6	272.7	205.2	164.2	137.0	117.3
2.15	W	1.51	2.75	4.43	7.77	10.22	17.08	28.11	39.39	68.30	94.98	136.78	260.48	407.79	580.43	774.76	992.19
	R_1	6443.6	4308.6	3134.4	2166.8	1812.0	1299.1	943.0	760.1	536.1	435.4	346.3	231.7	175.5	141.2	118.2	101.6
	R_2	8917.9	5850.3	4197.6	2859.3	2375.1	1682.8	1208.6	967.7	675.5	545.5	431.3	285.7	215.0	172.1	143.5	122.9

续表

水流速（m/s）	管径	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN207	DN259	DN309	DN357	DN404
	内径	15.75	21.25	27.00	35.75	41.00	53.00	68.00	80.50	106.00	125.00	150.00	207.00	259.00	309.00	357.00	404.00
2.20	W	1.54	2.81	4.53	7.95	10.46	17.47	28.76	40.31	69.89	97.19	139.96	266.54	417.27	593.93	792.78	1015.26
	R_1	6740.1	4506.8	3278.7	2266.5	1895.4	1358.9	986.4	795.1	560.7	455.5	362.3	242.4	183.6	147.7	123.6	106.2
	R_2	9333.5	6123.0	4393.3	2992.5	2485.8	1761.2	1264.9	1012.8	707.0	570.9	451.4	299.0	225.0	180.1	150.2	128.7
2.25	W	1.58	2.87	4.64	8.13	10.69	17.87	29.42	41.23	71.48	99.40	143.14	272.59	426.75	607.43	810.80	1038.34
	R_1	7043.2	4709.6	3426.1	2368.5	1980.7	1420.0	1030.8	830.9	586.0	476.0	378.6	253.3	191.9	154.3	129.2	111.0
	R_2	9758.6	6401.8	4593.4	3128.8	2599.0	1841.4	1322.6	1059.0	739.2	596.9	471.9	312.6	235.2	188.3	157.0	134.5
2.30	W	1.61	2.94	4.74	8.31	10.93	18.27	30.07	42.14	73.07	101.61	146.32	278.65	436.24	620.92	828.82	1061.41
	R_1	7353.0	4916.7	3576.9	2472.7	2067.8	1482.5	1076.1	867.5	611.8	496.9	395.2	264.5	200.3	161.1	134.9	115.9
	R_2	10193.1	6686.9	4797.9	3268.2	2714.7	1923.4	1381.5	1106.1	772.1	623.5	492.9	326.5	245.7	196.7	164.0	140.5
2.35	W	1.65	3.00	4.84	8.49	11.17	18.66	30.72	43.06	74.66	103.82	149.50	284.71	445.72	634.42	846.83	1084.49
	R_1	7669.4	5128.3	3730.8	2579.2	2156.9	1546.3	1122.5	904.8	638.1	518.3	412.3	275.8	208.9	168.1	140.7	120.9
	R_2	10637.1	6978.2	5006.9	3410.5	2833.0	2007.2	1441.6	1154.3	805.7	650.7	514.4	340.7	256.4	205.2	171.2	146.6
2.40	W	1.68	3.06	4.95	8.67	11.41	19.06	31.38	43.97	76.25	106.03	152.68	290.77	455.20	647.92	864.85	1107.56
	R_1	7992.5	5344.4	3888.0	2687.9	2247.8	1611.5	1169.8	943.0	665.0	540.2	429.6	287.5	217.8	175.1	146.6	126.0
	R_2	11090.5	7275.7	5220.3	3555.9	2953.7	2092.8	1503.1	1203.5	840.1	678.4	536.3	355.3	267.4	214.0	178.5	152.9
2.45	W	1.72	3.13	5.05	8.85	11.64	19.46	32.03	44.89	77.83	108.24	155.86	296.82	464.69	661.42	882.87	1130.63
	R_1	8322.3	5564.9	4048.5	2798.8	2340.5	1678.0	1218.1	981.9	692.5	562.5	447.4	299.4	226.7	182.4	152.7	131.2
	R_2	11553.4	7579.3	5438.2	3704.3	3077.0	2180.1	1565.8	1253.8	875.2	706.7	558.7	370.1	278.5	222.9	185.9	159.3
2.50	W	1.75	3.19	5.15	9.03	11.88	19.86	32.69	45.81	79.42	110.45	159.04	302.88	474.17	674.92	900.89	1153.71
	R_1	8658.7	5789.9	4212.2	2912.0	2435.2	1745.9	1267.3	1021.6	720.5	585.2	465.5	311.5	235.9	189.8	158.9	136.5
	R_2	12025.8	7889.2	5660.6	3855.8	3202.8	2269.3	1629.9	1305.0	911.0	735.6	581.6	385.2	289.9	232.0	193.5	165.8
2.55	W	1.79	3.26	5.26	9.21	12.12	20.25	33.34	46.72	81.01	112.66	162.22	308.94	483.65	688.42	918.90	1176.78
	R_1	9001.8	6019.3	4379.1	3021.7	2531.7	1815.1	1317.6	1062.1	749.1	608.4	483.9	323.8	245.3	197.3	165.2	141.9
	R_2	12507.7	8205.3	5887.4	4010.3	3331.2	2360.2	1695.2	1357.3	947.5	765.1	604.9	400.7	301.5	241.3	201.3	172.4

续表

水流速（m/s）	管径	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN207	DN259	DN309	DN357	DN404
	内径	15.75	21.25	27.00	35.75	41.00	53.00	68.00	80.50	106.00	125.00	150.00	207.00	259.00	309.00	357.00	404.00
2.60	W	1.82	3.32	5.36	9.40	12.36	20.65	33.99	47.64	82.60	114.86	165.41	315.00	493.14	701.91	936.92	1199.86
	R_1	9351.5	6253.2	4549.2	3145.0	2630.1	1885.6	1368.8	1103.4	778.2	632.1	502.8	336.4	254.8	204.9	171.6	147.5
	R_2	12999.0	8527.7	6118.7	4167.8	3462.0	2452.9	1761.8	1410.7	984.7	795.2	628.7	416.4	313.4	250.8	209.2	179.2
2.65	W	1.86	3.38	5.46	9.58	12.60	21.05	34.65	48.55	84.19	117.07	168.59	321.06	502.62	715.41	954.94	1222.93
	R_1	9707.9	6491.5	4722.6	3264.9	2730.3	1957.5	1421.0	1145.5	807.9	656.2	521.9	349.2	264.5	212.8	178.2	153.1
	R_2	13499.7	8856.2	6354.4	4328.4	3595.4	2547.4	1829.6	1465.0	1022.6	825.8	652.9	432.5	325.4	260.5	217.3	186.1
2.70	W	1.89	3.45	5.57	9.76	12.83	21.44	35.30	49.47	85.78	119.28	171.77	327.11	512.10	728.91	972.96	1246.01
	R_1	10070.9	6734.3	4899.3	3387.0	2832.5	2030.8	1474.1	1188.3	838.1	680.7	541.5	362.3	274.4	220.7	184.8	158.8
	R_2	14010.0	9190.9	6594.6	4492.0	3731.3	2643.7	1898.8	1520.4	1061.3	857.0	677.5	448.8	337.7	270.3	225.5	193.1
2.75	W	1.93	3.51	5.67	9.94	13.07	21.84	35.95	50.39	87.37	121.49	174.95	333.17	521.59	742.41	990.97	1269.08
	R_1	10440.6	6981.5	5079.1	3511.4	2936.5	2105.3	1528.3	1232.0	868.9	705.7	561.4	375.6	284.5	228.8	191.6	164.7
	R_2	14529.6	9531.8	6839.2	4658.6	3869.7	2741.8	1969.2	1576.8	1100.6	888.8	702.7	465.5	350.3	280.4	233.8	200.3
2.80	W	1.96	3.57	5.77	10.12	13.31	22.24	36.61	51.30	88.95	123.70	178.13	339.23	531.07	755.91	1008.99	1292.15
	R_1	10816.9	7233.2	5262.3	3638.0	3042.3	2181.2	1583.4	1276.4	900.2	731.2	581.6	389.2	294.8	237.1	198.5	170.6
	R_2	15058.8	9879.0	7088.3	4828.3	4010.7	2841.6	2041.0	1634.2	1140.7	921.2	728.3	482.4	363.0	290.6	242.4	207.6
2.85	W	2.00	3.64	5.87	10.30	13.55	22.64	37.26	52.22	90.54	125.91	181.31	345.29	540.55	769.41	1027.01	1315.22
	R_1	11199.9	7489.3	5448.6	3766.8	3150.1	2258.5	1639.5	1321.6	932.1	757.1	602.2	403.0	305.2	245.5	205.6	176.6
	R_2	15597.4	10232.3	7341.8	5001.0	4154.1	2943.3	2114.0	1692.7	1181.5	954.2	754.3	499.7	376.0	301.0	251.0	215.0
2.90	W	2.03	3.70	5.98	10.48	13.78	23.03	37.91	53.14	92.13	128.12	184.49	351.34	550.04	782.90	1045.03	1338.30
	R_1	11589.5	7749.9	5638.2	3897.9	3259.7	2337.1	1696.5	1367.6	964.5	783.4	623.2	417.0	315.9	254.0	212.7	182.8
	R_2	16145.5	10591.9	7599.8	5176.7	4300.1	3046.7	2188.3	1752.1	1223.1	987.7	780.8	517.2	389.2	311.5	259.9	222.6
2.95	W	2.07	3.77	6.08	10.66	14.02	23.43	38.57	54.05	93.72	130.33	187.67	357.40	559.52	796.40	1063.05	1361.37
	R_1	11985.8	8014.9	5831.0	4031.2	3371.2	2417.0	1754.5	1414.4	997.5	810.3	644.5	431.2	326.7	262.7	220.0	189.0
	R_2	16703.0	10957.7	7862.3	5355.5	4448.6	3151.9	2263.8	1812.7	1265.3	1021.8	807.8	535.1	402.7	322.3	268.8	230.3
3.00	W	2.10	3.83	6.18	10.84	14.26	23.83	39.22	54.97	95.31	132.54	190.85	363.46	569.00	809.90	1081.06	1384.45
	R_1	12388.8	8284.4	6027.1	4166.8	3484.6	2498.3	1813.6	1462.0	1031.1	837.5	666.2	445.8	337.7	271.6	227.4	195.4
	R_2	17270.0	11329.6	8129.1	5537.3	4599.6	3258.9	2340.7	1874.2	1308.2	1056.5	835.2	553.3	416.4	333.2	278.0	238.1

注　W 为水量，m^3/h；R_1 为对于闭式系统，取 Ra=0.2mm 时的比摩阻，Pa/m；R_2 为对于开式系统，取 Ra=0.5mm 时的比摩阻，Pa/m；Ra 为水管内表面的当量表面绝对粗糙度，mm。

表 9-21　　空气调节水系统局部阻力当量长度　　(m)

管径	球阀止回阀	闸阀	90°弯头			45°弯头		180°回弯	分（合）流三通	直通三通		
			标准	R/D=1.5	R/D=1	标准	R/D=1			同径	变径小 1/4	变径小 1/2
DN15	5.5	0.2	0.5	0.3	0.8	0.2	0.4	0.8	0.9	0.3	0.4	0.5
DN20	6.7	0.3	0.6	0.4	1.0	0.3	0.5	1.0	1.2	0.4	0.6	0.6
DN25	8.8	0.3	0.8	0.5	1.2	0.4	0.6	1.2	1.5	0.5	0.7	0.8
DN32	12	0.5	1.0	0.7	1.7	0.5	0.9	1.7	2.1	0.7	0.9	1.0
DN40	13	0.5	1.2	0.8	1.9	0.6	1.0	1.9	2.4	0.8	1.1	1.2
DN50	17	0.7	1.5	1.0	2.5	0.8	1.4	2.5	3.0	1.0	1.4	1.5
DN65	21	0.9	1.8	1.2	3.0	1.0	1.6	3.0	3.7	1.2	1.7	1.8
DN80	26	1.0	2.3	1.5	3.7	1.2	2.0	3.7	4.6	1.5	2.1	2.3
DN100	37	1.4	3.0	2.0	5.2	1.6	2.6	5.2	6.4	2.0	2.7	3.0
DN125	43	1.8	4.0	2.5	6.4	2.0	3.4	6.4	7.6	2.5	3.7	4.0
DN150	52	2.1	4.9	3.0	7.6	2.4	4.0	7.6	9.1	3.0	4.3	4.9
DN200	62	2.7	6.1	4.0	—	3.0	—	10	12	4.0	5.5	6.1
DN250	85	3.7	7.6	4.9	—	4.0	—	13	15	4.9	6.7	7.6
DN300	98	4.0	9.1	5.8	—	4.9	—	15	18	5.8	7.9	9.1
DN350	110	4.6	10	7.0	—	5.5	—	17	21	7.0	9.1	10
DN400	125	5.2	12	7.9	—	6.1	—	19	24	7.9	11	12
DN450	140	5.8	13	8.8	—	7.0	—	21	26	8.8	12	13
DN500	160	6.7	15	10	—	7.9	—	25	30	10	13	15
DN600	186	7.6	18	12	—	9.1	—	29	35	12	15	18

注 R/D 为管道弯曲半径与管道直径之比。

（七）冷（热）水系统循环水泵及辅助设备

1. 冷（热）水循环泵

（1）冷（热）水循环泵应按下列原则配置：

1）除冷（热）水的流量及管网阻力相吻合的情况外，两管制水系统应分别设置冷水和热水循环泵。

2）除采用模块式冷水机组（包括模块式蒸发式冷水机组）、采用一次泵（变频）变流量系统的情况外，一次泵系统循环水泵及二次泵系统中一级冷水泵，应与冷水机组（包括蒸发冷却机组）的台数和流量相对应。

3）二次泵系统中的二级冷水泵，应按系统的分区和每个分区的流量及运行调节方式确定，每个分区循环水泵不宜少于 2 台，水泵应采用平坦型变频调速泵，且宜在水泵出口设限流阀。

4）蒸发式冷水机组采用冷却风机变频来控制出水温度时，蒸发冷却冷水循环系统的一次侧循环水泵宜采用变频调速水泵。

5）开式蒸发冷却冷水循环系统，当采用中间板式换热器间接供冷时，二次侧循环水泵数量宜与换热器的台数对应，循环水泵可采用变频调速泵。

6）在选配冷（热）水系统循环水泵时，宜按照 GB 50189—2015 的规定计算空气调节冷（热）水系统耗电比值，并符合规定要求。

（2）冷（热）水循环泵的形式应遵循下列原则：

1）宜选低比转数单级离心泵。

2）定流量水泵并联组合宜选择陡降型特性的水泵。

3）二次泵系统中各区域二级变频冷水泵宜选用同型号、平坦型特性的水泵。

4）当定频泵与变频泵并联时，定频泵应选陡降型。

5）水泵应满足水系统承压要求。

2. 循环水泵的流量

（1）除蒸发冷却供冷系统外，冷水系统循环水泵流量计算式为

$$G=KQ/(1.163\Delta t) \tag{9-19}$$

式中 G——水泵的流量，m^3/h；

K——水泵流量附加系数，取 1.05～1.1；

Q——水泵所负担的空气调节冷（热）负荷，kW；

Δt——供回水温差，℃。

（2）一次泵系统循环水泵及二次泵系统中一级冷水泵，宜与冷水机组的流量相对应；二次泵系统中各区域二级变频冷水泵的台数不宜少于两台，水泵的总流量宜按系统总流量的 1.3～1.5 倍设计。

（3）蒸发冷却供冷系统循环流量及循环水泵流量的确定应符合下列规定：

1）应分别计算空气末端装置消除室内显热所需的流量和空气调节机组预冷器承担的冷负荷所需流量。

2）对于串联方式的空气-水系统，设计循环流量为通过空气末端装置的流量，并应不大于通过空气调节机组预冷器流量的 1.2 倍，使通过空气末端装置的流量与空气调节机组预冷器流量基本平衡。

3）对于并联方式的空气-水系统及全空气系统，设计循环流量应为通过空气末端装置的流量与空气调节机组预冷器的流量之和。

4）循环水泵流量应按设计循环流量附加 10%～20%的安全裕量。

3. 循环水泵的扬程

闭式循环冷水系统循环水泵的扬程应按下列方式计算确定，蒸发冷却开式供冷系统循环水泵的扬程的计算方式详见本章第四节。

（1）一次泵系统循环水泵的扬程应按冷水机组的蒸发器（或换热器）阻力、末端空气调节设备换热器阻力、自控阀及水过滤器阻力、管路和管件阻力之和计算。

（2）二次泵系统循环水泵的扬程应按下列方式计算确定：

1）闭式循环冷水系统一级泵的扬程应按冷源侧冷水机组的蒸发器（或换热器）阻力、自控阀及水过滤器阻力、管路和管件阻力之和计算。

2）闭式循环冷水系统二级泵的扬程应按负荷侧末端空气调节设备换热器阻力、自控阀及水过滤器阻力、管路和管件阻力之和计算。

（3）循环水泵的扬程应附加 5%～10%的裕量。

4. 分水器、集水器

当需从总管接出 2 路以上分支环路时，考虑各环路之间的压力平衡和使用功能要求，应设置分水器、集水器。分水器、集水器的计算、选型及安装要求见第八章第三节或国家建筑标准设计图集 05K232。

5. 水过滤器或除污器

冷水机组、换热器、水泵及电动调节阀、平衡阀等设备的入口管道上，宜安装水过滤器或除污器，各设备相距不远时可不重复设置，但过滤器孔径按较高的过滤精度选用。水过滤器或除污器两端应设压力表。水过滤器选型及过滤精度的选择见国家建筑标准设计图集 13K704，水过滤器过滤精度宜按如下确定：

（1）水泵进口：≤3mm。

（2）冷水机组蒸发器、冷凝器进口：≤3mm。

（3）电动调节阀（包括自动控制调节阀）进口宜单独设置 Y 形水过滤器，孔径宜采用 2.5mm。

第四节 冷却水系统

一、冷却水系统水源及循环冷却方式

冷水机组的制冷系统都需要对冷凝器进行冷却，一般分为风冷冷凝器、水冷冷凝器和蒸发冷凝器。制造商通常把风冷冷凝器和蒸发冷凝器制造成整体机组的形式。采用水冷冷水机组时，为保证冷水机组正常运行应设计合理的冷却水系统。

冷却水系统可分为直流式和循环式两种基本类型。受水资源条件及保护政策的限制，现在冷却水系统基本采用循环式冷却方式。在火力发电厂，集中冷源的循环冷却水系统可采用工艺冷却水（包括凝汽器循环冷却水、工艺闭式工业冷却水）或设置独立冷却水系统进行冷却循环。当工艺冷却水的水质、温度、压力满足冷水机组要求，且水源能够连续供给时，应优先采用。

独立冷却水系统也可以分为开式冷却水系统和闭式冷却水系统。

开式系统由于水与空气大量接触，水中会慢慢地积存溶解氧，同时水中也更容易进入杂质、污垢及产生微生物，易引起冷凝器结垢和管道的腐蚀，影响冷水机组的制冷效率，对系统维护清洁与正常运行不利。因此，开式冷却水系统应在周围空气环境清洁的场所使用。闭式冷却水系统中的冷却水与大气处于隔绝状态，能有效保证冷却水的水质免受大气的污染，但在保证冷却效率的情况下，闭式冷却塔造价较大。因此，在空气污染严重或空气中含有腐蚀性物质等场所，如燃煤电厂集控楼和炉后部分，以及运煤系统附近，宜采用闭式冷却塔。

二、冷却水水温

各类水冷冷水机组冷却水进口水温及进出口温差在相关的冷水机组国家标准中均有规定，见表 9-22。这些规定是在综合考虑了压缩式冷水机组冷凝器的允许工作压力和溴化锂吸收式冷水机组的运行效率等因素，以及当地夏季空气调节室外计算湿球温度较

高的炎热地区冷却塔的处理能力，经技术经济比较后确定的。

表 9-22 冷水机组冷却水进口水温及进出口温差

冷水机组类型	冷却水进口最低温度（℃）	冷却水进口最高温度（℃）	名义工况冷却水进出口温差（℃）
电动压缩式	15.5	33	5
蒸汽溴化锂吸收式	24	34	5～7

实际冷却水最高进水温度，主要取决于当地大气压、夏季空气调节计算湿球温度等气象参数，以及冷却塔的性能。当冷却塔的实际使用气象参数与冷却塔设备样本数据不同，而样本缺乏相应的选型资料时，应进行冷却塔的热工校核计算或由冷却塔生产商提供热工选型计算。

随着室外湿球温度的降低，冷却塔的出水温度会下降。冷水机组的冷却水水温过低会造成电动压缩式冷水机组制冷压缩比的下降，使机组运行不稳定、润滑系统故障，甚至会出现停机保护；溴化锂吸收式冷水机组则会出现结晶事故。

防止冷却水过冷一般采用旁通控制法、风机控制法：

（1）旁通控制法是在冷却塔进出水母管之间设置旁通管，在进水管和旁通管上设置电动旁路二通调节阀（或直接在冷却塔进水管上设置电动三通分流调节阀），当冷却塔出水温度（冷水机组进水温度）过低（低于冷水机组的最低进水要求）时，通过设在冷水机组进水母管上的温度传感器控制电动调节阀的开度，使一部分冷却水不进入冷却塔而直接经旁通与冷却塔出水混合，并通过调节混合比例控制，满足冷水机组冷却水进水温度。

（2）风机控制法是设定冷却塔出水温度直接控制冷却塔风机的转速或控制冷却风机的运行台数。风机控制法既能保证冷却水温度，又能节省冷却风机的能耗，是值得采用的较好的方法。

三、冷却塔

1. 冷却塔的种类

常用的冷却塔有开式冷却塔和闭式冷却塔两大类。开式冷却塔采用直接蒸发冷却方式，使用最多的是逆流式冷却塔或横流式冷却塔（见图 9-11 及图 9-12）。闭式冷却塔采用间接蒸发冷却方式（见图 9-13）。

冷却塔按进出水温差分有普通型（水温差为 5℃）和中温型（水温差为 8℃）。电驱动冷水机组通常采用普通型冷却塔，吸收式溴化锂冷水机组宜选用中温型冷却塔。

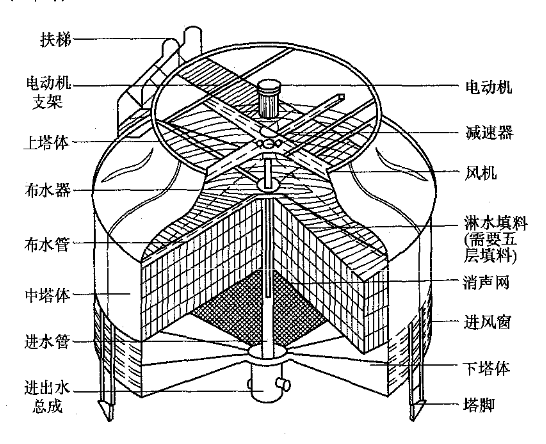


图 9-11 逆流式开式冷却塔结构图

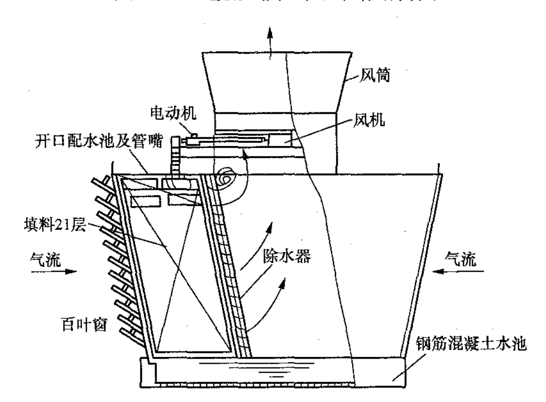


图 9-12 横流式开式冷却塔结构图

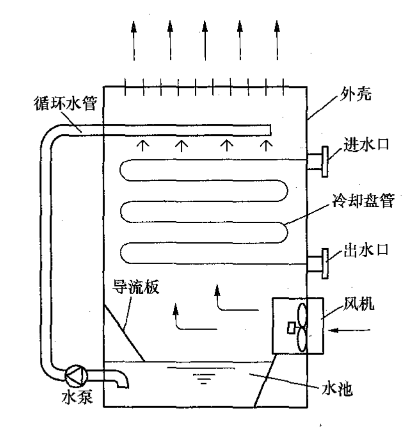


图 9-13 闭式冷却塔结构图

2. 冷却塔性能

GB/T 7190.1—2008《玻璃纤维增强塑料冷却塔 第 1 部分：中小型玻璃纤维增强塑料冷却塔》适用于单台冷却水量小于 1000m³/h、机力通风、装有淋水填料的混合结构开式冷却塔。该标准规定的一些技术性能如下：

（1）开式冷却塔标准设计工况见表 9-23。

表 9-23　开式冷却塔标准设计工况

标准设计＼塔型	普通型（P 型）	低噪声型（D 型）	超低噪声型（C 型）	工业型（G 型）
进水温度（℃）	37			43
出水温度（℃）	32			33
设计温差（℃）	5			10
湿球温度（℃）	28			28
干球温度（℃）	31.5			31.5
大气压力（hPa）	994			994

注　对其他设计工况的产品，必须换算到标准设计工况，并在样本或产品说明书中，按标准设计工况标记冷却水流量。

（2）开式冷却塔噪声指标见表 9-24。

表 9-24　开式冷却塔噪声指标

名义冷却水流量（m^3/h）	噪声指标 dB（A）			
	P 型	D 型	C 型	G 型
8	66.0	60.0	55.0	70.0
15	67.0	60.0	55.0	70.0
30	68.0	60.0	55.0	70.0
50	68.0	60.0	55.0	70.0
75	68.0	62.0	57.0	70.0
100	69.0	63.0	58.0	75.0
150	90.0	63.0	58.0	75.0
200	71.0	65.0	60.0	75.0
300	72.0	66.0	61.0	75.0
400	72.0	66.0	62.0	75.0
500	73.0	68.0	62.0	78.0
700	73.0	69.0	64.0	78.0
800	74.0	70.0	67.0	78.0
900	75.0	71.0	68.0	78.0
1000	75.0	71.0	68.0	78.0

注　1. 介于两流量间时，噪声指标按线性插值法确定。
2. 对 G 型塔的噪声指标有特殊要求时，由供需双方商定。
3. 噪声的标准测点为：上测点在塔的出风口 45°方向，离风筒为一倍出风口直径，当出风口直径大于 5m 时，测定距离取 5m。下测点在塔进风口方向，离塔壁水平距离为一倍塔体直径，当塔体直径小于 1.5m 时，取 1.5m；当塔形为方形或矩形时，取塔体的当量直径 $D_m=1.13\sqrt{LW}$，式中 L、W 分别为塔的长度与宽度。

（3）耗电比：在电动机的实际工作电流不大于其额定电流量的条件下，G 型塔不大于 0.05kW/（m^3/h），其他塔型不大于 0.035kW/（m^3/h）。

（4）飘水率：不大于名义冷却水流量的 0.015%。

（5）阻燃型冷却塔的玻璃钢氧指数不应低于 28%。

3. 冷却塔循环水量的确定

初步设计阶段，冷却塔计算冷却水量计算式为

$$G=\frac{kQ_0}{c(t_{w1}-t_{w2})} \tag{9-20}$$

式中　G——冷却塔计算冷却水量，m^3/h。

k——制冷机制冷时耗功的热量系数：对于压缩式制冷机，取 1.2～1.3；对于溴化锂吸收式制冷机，取 1.8～2.2。

Q_0——制冷机冷负荷，kW。

c——水的比热容，取 4.19kJ/（kg·℃）。

$t_{w1}-t_{w2}$——冷却塔的进出水温度差，压缩式制冷机取 4～5℃，溴化锂吸收式制冷机取 6～9℃（采用$\Delta t \geq 6$℃时，最好选用中温型冷却塔）。当地气候比较干燥，湿球温度较低时，可采用较大的进出水温差。

施工图设计阶段，冷却塔计算冷却水量 G 应根据冷水机组额定的冷却水量确定。选用冷却塔时，循环水量应按计算冷却水量附加 1.2 安全裕量选型。

4. 冷却塔的热工计算

目前开式冷却塔制造商所生产的定型产品均有供设计的选用样本，但选型时必须注意当地气象条件与设计供回水温度及温差应与样本标定的工况一致，特别是室外湿球温度，当不一致时应要求制造商按照 GB/T 50392—2006《机械通风冷却塔工艺设计规范》，对冷却塔热工校核计算并进行修正。

由于国家尚未发布闭式冷却塔相关的技术标准，因此闭式冷却塔的热工计算应由制造商提供。

闭式冷却塔的热工计算需要的主要参数：当地的气象参数（包括夏季空气调节干球温度与湿球温度、大气压）、进水温度、出水温度、冷却塔排热量、冷却水量。冷却塔排热量可取冷水机组冷凝热量的 1.25 倍，冷水机组冷凝热量应由冷水机组制造商提供，冷却水量应满足冷水机组的要求。

5. 冷却塔的选型原则

（1）根据制冷站周围的空气质量和室外空气的湿球温度，确定选用开式冷却塔或闭式冷却塔。当室外空气环境较好（如厂前区），室外空气较为干燥时，应选用开式冷却塔；如果冷却塔运行环境周围空气污染严重或空气中含有腐蚀性物质（如炉间布置的集控楼、炉后区域、运煤系统区域等），则应选用闭式冷却塔。

（2）根据冷却塔运行环境对噪声的要求，选择低噪声型冷却塔或超低噪声型冷却塔，并应符合 GB

3096—2006《声环境质量标准》环境噪声标准值的要求。

（3）为了节水和防止对环境的影响，宜选用飘水率不大于循环冷却水流量的 0.01%～0.005%的优质冷却塔。

（4）宜选用集水型冷却塔。冷却塔集水底盘或冷却水集水箱的有效容积应大于以下两项之和：

1）润湿冷却塔填料等部件所需要的水量，由冷却塔制造厂提供，或按冷却塔的循环水量进行估算，逆流式冷却塔为循环水量的 1.2%，横流式冷却塔为循环水量的 1.5%。

2）冷却水泵停泵时，管道靠重力流出的水容积。

（5）应选用阻燃型冷却塔。

四、冷却水管路系统

（一）冷水机组、冷却塔及冷却水泵的配置及连接

1. 冷水机组、冷却塔及冷却水泵的配置要求

（1）冷水机组、冷却塔及冷却水泵的台数应与冷水机组相对应。

（2）对进口水压有要求的冷却塔的台数，宜与冷却水泵台数相对应；横流式冷却塔，可合用一组冷却塔。

2. 冷水机组、冷却塔及冷却水泵的连接要求

（1）冷却水泵应自灌吸水，冷却塔集水盘或冷却水箱最低水位与冷却水泵吸水口的高差应大于管道、管件（包括过滤器）、设备的阻力。

（2）冷却水泵宜设置在冷水机组冷凝器的进水口侧（水泵压入式）。

（3）2 台及以上冷水机组和冷却水泵之间的连接要求同冷水循环泵。

（4）多台冷水机组和冷却水泵之间通过集管连接时，每台冷水机组进水或出水管道上应设置对应的冷水机组和水泵联锁开关的电动二通切换阀。

（5）当多台开式冷却塔采用共用集管并联运行时，应符合下列要求：

1）对进水口有余压要求的冷却塔及进水口无余压要求的横流式冷却塔，进水管上宜设置电动切换阀，电动切换阀应与对应的冷却水泵联锁开关。

2）除设置集水箱或冷却塔底部为共用集水盘的情况外，每台冷却塔出水管上设置电动切换阀，与对应冷却水泵联锁开关。

3）集水盘之间应设置平衡管或在各冷却塔底部设置公用集水盘（槽）。平衡管可取比总回水管的管径加大一号；各冷却塔的出水集管宜比进水集管大两号，并用 45°弯管与冷却塔各出水口连接，如图 9-14 所示。

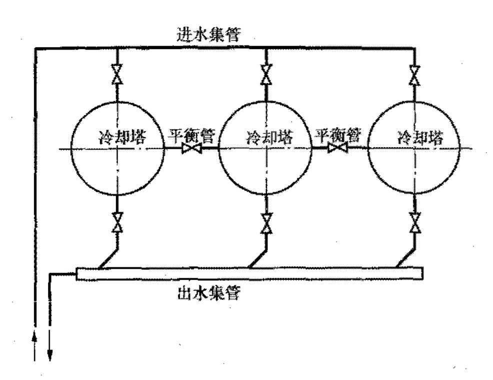


图 9-14　多台冷却塔并联时管路布置示意图

（二）冷却水泵的选用和设置

冷却水泵宜选低比转数单级离心泵。冷却水泵的流量及扬程计算应符合下列要求：

1. 冷却水泵的台数及流量

冷却水泵的台数及流量应与冷水机组相对应，冷却水泵流量宜按冷水机组的冷却水流量附加 5%～10%的裕量。

2. 冷却水泵扬程

（1）开式冷却水系统干管宜以比摩阻 R=300Pa/m、绝对粗糙度 Ra=0.5mm 来选管径或按表 9-25 中的流速来选管径。

表 9-25　冷却水管路流速

管道类型		管径（mm）	流速（m/s）	备注
水泵出水管		≤DN250	1.2～1.5	管径小时宜取下限流速，管径大时宜取上限流速
		>DN250	1.5～2.0	
水泵吸水管	接集水箱	≤DN100	0.6～0.8	
		>DN100	0.8～1.2	
	接循环干管	≤DN250	1.0～1.2	
		>DN250	1.5～2.0	
循环干管		≤DN250	1.5～2.0	
		>DN250～DN500	2.0～2.5	
		>DN500	2.5～3.0	

（2）闭式冷却水系统干管阻力计算同冷水系统，见本章第三节。

（3）冷却水泵扬程应为下列各项总和，并附加 5%～10%的安全裕度：

1）冷却塔集水盘水位至布水器的高差（设置冷却水箱时为水箱水位至冷却塔布水器的高差）。

2）冷却塔进水口压力要求，由生产厂技术资料提供，缺乏资料时可按表 9-26 给出的数据选取。

表 9-26　冷却塔进水口压力

冷却塔类型	配置旋转布水器的逆流式冷却塔	横流式冷却塔
冷却塔进水口压力（MPa）	0.1	≤0.05

3）冷凝器等换热设备阻力，由生产厂技术资料提供，缺乏资料时可按表 9-19 给出的数据选取。

4）吸入管道和压出管道阻力（包括控制阀、除污器等的局部阻力）。

（三）冷却水系统防冻

有冻结危险的地区，冷却水系统应采取下列防冻措施：

（1）冬季不运行的冷却水系统，应设有将集水盘及室外屋面补水管、冷却水供回水管内的水泄空的装置；

（2）冬季运行的冷却水系统，可采用乙二醇水溶液作为循环冷却水，并在集水盘、补水管设置电伴热装置。

五、冷却塔供冷

对于过渡季或冬季需要供冷的建筑或房间，应尽量采用全新风运行工况运行，充分利用室外新风作为冷源，这是最经济实用和节能的方法。当建筑物或房间，如主厂房区域内的工艺设备房，由于室外取风管道布置困难，或室外空气质量较差等原因时，可采用冷却塔供冷方式，以减少冷水机组全年的运行时间。当过渡季或冬季冷却塔供冷应考虑下列因素：

（1）应根据当地过渡季或冬季气象参数下计算冷却塔的最高供水温度。

（2）应计算过渡季或冬季供冷负荷，并根据冷却塔的出水温度、进出水温差校核空气调节末端的换热面积。

（3）采用开式冷却塔供冷时，宜用被冷却塔冷却后的水作为一次水，并通过板式热交换器提供二次冷水，板式热交换器的换热温差可取 1～2℃；当采用闭式冷却塔时，可直接提供冷水。

（4）夏季空气调节冷水应采用分区二管制或四管制系统。

（5）在过渡季或冬季冷却塔供冷模式下，冷源侧一次泵、负荷侧二次泵的规格、台数应与冬季工况相匹配。

（6）采用板式热交换器供冷水时，板式热交换器台数不应少于 2 台，总换热量应在总冷负荷的基础上乘以 1.05～1.1 的附加系数，工艺有要求时可设备用。负荷侧二次泵宜采用变频泵。

（7）冷却塔冬季运行时，冷却塔、阀门及管道系统应有防冻措施。

第五节　冷（热）水及冷却水系统水质、循环水系统补水、闭式循环水系统的定压及膨胀

一、冷（热）水及冷却水系统水质及水处理

1. 冷（热）水及冷却水系统水质

（1）空气调节冷（热）水和冷却水均应保持一定的水质条件，以防止设备的腐蚀、结垢和产生微生物与藻类物质，保证换热设备的换热效率。GB/T 29044—2012《采暖空气调节系统水质》规定了集中空气调节循环冷水系统、开式及闭式循环冷却水系统、蒸发式循环冷却水系统水质标准，见表 9-27～表 9-29。

表 9-27　集中空气调节循环冷水系统及闭式循环冷却水系统水质要求

检测项	单位	补充水	循环水
pH（25℃）		7.5～9.5	7.5～10.0
浊度	NTU	≤5	≤10
电导率（25℃）	μS/cm	≤600	≤2000
Cl^-	mg/L	≤250	≤250
总铁（以 Fe 计）	mg/L	≤0.3	≤1.0
钙硬度（以 $CaCO_3$ 计）	mg/L	≤300	≤300
总碱度（以 $CaCO_3$ 计）	mg/L	≤200	≤500
溶解氧	mg/L	—	≤0.1
有机膦（以 P 计）	mg/L	—	≤0.5

表 9-28　开式循环冷却水系统水质要求

检测项	单位	补充水	循环水
pH（25℃）		6.5～8.5	7.5～9.5
浊度	NTU	≤10	≤20 ≤10（当换热设备为板式、翅片管式、螺旋板式）
电导率（25℃）	μS/cm	≤600	≤2300
碱硬度（以 $CaCO_3$ 计）	mg/L	≤120	—
总碱度（以 $CaCO_3$ 计）	mg/L	≤200	≤600
碱硬度+总碱度（以 $CaCO_3$ 计）	mg/L	—	≤1100
Cl^-	mg/L	≤100	≤500

续表

检测项	单位	补充水	循环水
总铁	mg/L	≤0.3	≤1.0
NH_3-N①	mg/L	≤5	≤10
游离氯	mg/L	0.05～0.2（管网末梢）	0.05～1.0（循环回水总管处）
COD_{cr}	mg/L	≤30	≤100
异氧菌总数	个/mL	—	≤1×10^5
有机膦（以P计）	mg/L	—	≤0.5

① 当补充水源为地表水、地下水或再生水回用时应对本指标进行检测与控制。

表 9-29 蒸发式循环冷却水系统水质要求

检测项	单位	直接蒸发		间接蒸发	
		补充水	循环水	补充水	循环水
pH（25℃）		6.5～8.5	7.0～9.5	6.5～8.5	7.0～9.5
浊度	NTU	≤3	≤3	≤3	≤5
电导率（25℃）	μS/cm	≤400	≤800	≤400	≤800
碱硬度（以$CaCO_3$计）	mg/L	≤80	≤160	≤100	≤200
总碱度（以$CaCO_3$计）	mg/L	≤150	≤300	≤200	≤400
Cl^-	mg/L	≤100	≤200	≤150	≤300
总铁（以Fe计）	mg/L	≤0.3	≤1.0	≤0.3	≤1.0
硫酸根离子（以SO_4^{2-}计）	mg/L	≤250	≤500	≤250	≤500
NH_3-N①	mg/L	≤0.5	≤1.0	≤5	≤10
COD_{cr}	mg/L	≤3	≤5	≤30	≤60
菌落总数	CFU/mL	≤100	≤100	—	—
异氧菌总数	个/mL	—	—	—	≤1×10^5
有机膦（以P计）	mg/L	—	—	—	≤0.5

① 当补充水源为地表水、地下水或再生水回用时应对本指标进行检测与控制。

（2）发电厂空气调节冷（热）水及冷却水水源的选择宜符合下列原则：

1）闭式循环水（包括闭式冷却水）及其补水水源宜采用不含NH_3的除盐水、软化水及生活水。

2）开式冷却水、蒸发冷却循环水及其补水水源可采用工业水及生活水。

2. 水质处理方法

当不满足水质要求时应采取水质处理措施。水质处理方法主要有物理水处理方法、化学水处理方法、连续排污方法及采用水冷冷凝器自动在线清洗装置。

（1）物理水处理装置主要有磁型水处理器、电子水处理器和静电水处理器。它们的工作原理是水处理器产生的磁场和电场改变了水分子的物理结构，在阻止水中钙、镁离子与碳酸根合成碳酸钙和碳酸镁，在达到防垢的效果的同时，又能破坏分子之间的结合力，改变其晶体结构，使水垢疏松、剥落而达到除垢目的。

普通型磁型水处理器适用于水质总硬度（以$CaCO_3$计）不大于300mg/L，加强型不大于700mg/L；电子水处理器适用于水质总硬度（以$CaCO_3$计）不大于550mg/L；静电水处理器适用于水质总硬度（以$CaCO_3$计）不大于700mg/L。

磁型水处理器可水平或垂直安装，但应避免靠近其他磁场设备（如电动机），当距离小于1.0m时，应对设备屏蔽处理。

电子水处理器、静电水处理器宜垂直安装，并应根据厂商的安装要求做好绝缘与接地措施。当静电水处理器内水成螺旋流动时可水平安装。

（2）化学水处理方法是利用在水系统中添加化学药物，以起到缓蚀、阻垢、灭菌灭藻的目的。目前常采用自动加药装置来进行化学水处理。自动加药装置应根据水质的情况，由专业的水处理公司确定。

（3）冷却塔冷却水最简单方便的水质处理方法是采用连续少量的排污方法，以减少循环水中的钙、碱的含量。但这样会增加补充水量。

（4）水冷冷凝器自动在线清洗装置可实时有效降低冷凝器的污垢热阻，降低冷凝端温差和冷凝温度。目前自动在线清洗装置主要有清洁球和清洁毛刷两大类产品，可根据水质情况及冷水机组的特点合理选用。

二、循环水系统补水

开式冷却水系统或闭式冷却塔中的循环冷却水因水蒸发损失、飘逸损失、排污泄漏损失等原因需要对系统补水。闭式循环水系统会因管道系统的初次充水、漏水、泄水（如排污、热膨胀溢流、安全阀动作）及因水温的降低水体积缩小，系统压力降低等原因也需要对系统补水。

1. 开式冷却水系统

（1）开式冷却水系统或闭式冷却塔中的循环冷却水的补水量应按蒸发损失、飘逸损失、排污泄漏损失及因补充水温降低水体积缩小量之和计算。补水量宜按循环水量的百分比计算，并符合下列要求：

1）蒸发损失，夏季可按照每1℃水温降为0.16%估算。

2）飘逸损失，宜按制造厂提供的数据确定，无资料时，可取0.2%～0.3%。

3）排污泄漏损失，宜根据补水水质、冷却水浓缩倍数的要求、飘逸损失量等经计算确定，估算时可取

0.3%。

4）在冷却水温降为5℃时，补水量可取循环水量的1.5%。

（2）冷却水补水系统管道的设置应符合下列要求：

1）冷却塔集水底盘或冷却水集水箱应设补水管、溢水管和泄水管。

2）补水管应设置自动补水管（如浮球阀）和快速补水管。快速补水管的管径宜比自动补水管管径大2号。

3）自动补水管应能自动控制集水底盘或冷却水集水箱的最低水位，快速补水管应设置在集水底盘或冷却水集水箱最高水位以上。

4）补水水管的管径应按补水量确定，管内水流速度可按表9-30取值。

表9-30　　给水管道的水流速度

公称直径（mm）	DN25～DN40	DN50～DN70	≥DN80
水流速度（m/s）	≤1.2	≤1.5	≤1.8

2. 闭式循环水系统

空气调节冷（热）水系统总小时补水量宜按系统水容量（V_c）的1%计算。系统水容量（V_c）应经计算确定。供冷和采用空气调节末端供热的室内空气调节水系统V_c可按表9-31计算或按系统循环水量的0.5%估算，室外管线按设计管网水容量计算确定。

表9-31　　空气调节水系统单位建筑面积水容量　　（L/m²）

空气调节方式	全空气系统	水/空气系统
供冷和采用空气调节末端供热	0.40～0.55	0.7～1.30

三、闭式循环水系统的定压及膨胀

1. 定压

闭式循环水系统定压的主要目的有：

（1）限制水系统压力低于允许工作压力。

（2）保持高于排气所需最小水压。

（3）保证系统循环水泵吸入口的压力大于泵的气蚀余量，防止气蚀。

（4）确定系统中某点的压力值。

（5）保证系统内任何一点不出现负压或者空气调节热水的汽化。

闭式循环水系统通常采用高位开式膨胀水箱定压、补水泵定压和密闭式气压罐定压方式。

系统定压点的位置宜设在循环水泵的吸入口，循环水温度不大于60℃时，定压点的最低压力应保证系统最高点压力大于大气压5kPa；循环水温度大于60℃时，定压点的最低压力应保证系统最高点压力高于大气压10kPa。

2. 膨胀

闭式循环水系统，当水温的升高或降低时会引起系统内水体积的膨胀或收缩。闭式循环水系统供冷、供热时最大膨胀量计算式如下：

供冷、供热时为

$$V_p=V_c(\rho_0/\rho_m-1) \tag{9-21}$$

式中　V_p——水系统最大膨胀量，m³；

V_c——系统水容量，m³；

ρ_0——水的起始密度，kg/m³，供热时可取水温t_0=5℃时对应的密度值，供冷时可取水温t_0=35℃时对应的密度值；

ρ_m——系统运行时水的平均密度，kg/m³。

仅供冷时为

$$V_p=V_c(1-\rho_0/\rho_m) \tag{9-22}$$

其中　$\rho_m=(\rho_s+\rho_r)/2$

式中　ρ_s——设计供水温度下水的密度，kg/m³；

ρ_r——设计回水温度下水的密度，kg/m³。

当全厂集中供空气调节热水时，由于系统水容量很大，水的体积膨胀量较大，容纳全部膨胀水量的设备（膨胀水箱、气压罐）体积会很大。考虑到厂区空气调节系统有部分是工艺性空气调节，热水系统在供热季连续运行，供水水温在较小的范围内波动，可按式（8-8）计算膨胀水量，初运行时多余的膨胀水量可由高位开式膨胀水箱或补水箱的溢流口排出，并通过排水系统回收。

水在一个大气压下不同水温对应的密度可按表8-7确定。

一般情况下，V_p/V_c值可按表9-32取值，两管制空气调节系统冷、热水合用膨胀装置时，应按空气调节热水的V_p/V_c取值。

表9-32　　V_p/V_c值

系统	空气调节冷水	空气调节热水	供暖	
供/回水温度（℃）	7/12	60/50	85/60	95/70
水的起始温度（℃）	35	5	5	5
V_p/V_c	0.0053	0.01451	0.02422	0.03066

3. 高位开式膨胀水箱定压

（1）高位开式膨胀水箱定压系统如图8-3所示。

（2）高位开式膨胀水箱定压的设计要点：

1）在系统静压接近冷（热）源设备所能承受工作压力的情况下，应保持水箱低水位应高出系统最高点（集气罐或放空气管）1m以上。

2）当水箱布置在不供暖房间或户外会结冰的场

所时，应设置循环管。循环管应从定压点上游大于3m处接出，使其与膨胀管接点有一定的压差。膨胀水箱、循环管、信号管、膨胀管应保温。

3）当风冷冷水机组与膨胀水箱同时布置在屋面时，如膨胀水箱与回水总管的高差不足以克服水泵入口水过滤器、阀门等阻力，定压点应设在水泵水过滤器下游。

4）膨胀水箱正常补水应采用金属浮球，并应另接快速补水管用于系统充水或事故补水，补水水压至少不低于0.01MPa（表压）。

5）高位开式膨胀水箱最小有效容积 V_x（不含溢水管到水箱顶板的高度）应按式（8-7）计算。

其他设计要点参见第八章第三节的相关内容。

4. 补水泵定压系统

（1）当高位开式膨胀水箱布置有困难或高位开式膨胀水箱补水水压低于0.01MPa（表压）时，可采用补水泵定压方式，发电厂集中制冷站一般采用密闭式气压罐自动补水定压。补水泵定压系统详见第八章第三节。

（2）补水泵宜设置两台，其中一台备用；两台补水泵的总小时流量应满足空气调节冷（热）水系统总小时补水量。初期充水或事故补水时2台水泵同时运行。补水泵扬程按式（8-9）计算。

（3）密闭式气压罐自动补水定压机组选型。

1）密闭式气压罐的容积及工作压力应根据密闭式气压罐能否容纳膨胀水量的需要来选择。

2）工程设计中，设计院可提供密闭式气压罐自动补水定压机组的下列参数（其中压力值应统一采用表压），由设备制造商计算选型：

a. 空气调节冷（热）水供回水温度。

b. 系统最高工作压力及系统最高静水压力。

c. 循环水泵扬程。

d. 定压点压力 p 及补水泵参数（流量、压力）。补水泵启动压力可取定压点压力 p 值，停泵压力可取 $p+$（30～50）kPa。

e. 水系统最大膨胀量 V_p 及补水箱最小有效容积。

f. 泄压电磁阀开启压力及安全阀开启压力。泄压电磁阀开启压力可取 p+100kPa；安全阀开启压力可取 p+150kPa，并应限制在系统的承压值内，略高于系统最高工作压力。

g. 设备自控要求。

第六节　制 冷 站 布 置

一、制冷站房设计

1. 制冷站房布置的总体要求

（1）制冷站房应布置在周围空气较为清洁且通风良好的位置，不宜布置在锅炉房区域、运煤建筑及发散腐蚀气体和易燃易爆气体的建筑物附近。

（2）制冷站房宜在建筑物的底层独立布置，并有良好的天然采光，不宜布置在对振动、噪声有较高要求的工艺设备房和办公室、会议室附近。当制冷站不能布置在底层时，应充分考虑楼板隔振和防水措施；当周围房间有较高的振动、噪声要求时，制冷站应考虑隔振和防噪措施。

（3）制冷站房应具有合适的建筑面积，合理安排大型设备的运输和进出通道、维修场地及安装与维修所需的起吊空间及起吊措施（如设置单轨吊、预埋吊钩土建预埋件）。

（4）大型制冷站内宜设有配电间、控制设备间及监控值班室。

（5）制冷站房应有可靠的供水系统和通畅的排水系统。机房地面应采用易清洗的面层（如水泥压光地面），排水坡度不应小于1%。站内应设有洗手盆、水斗，地面应设有地漏或排水明沟。

（6）各台制冷机组的安全阀出口或安全爆破膜出口，应用钢管并联起来，并接至室外安全地带，以便发生超压破裂时将制冷剂引至室外上空释放，确保冷冻机房运行管理人员的人身安全。

2. 制冷站房暖通设计要求

（1）制冷站房设备间的室内温度，冬季宜不小于16℃，夏季宜不大于35℃；冬季设备停运时值班温度应不小于5℃。

（2）地上制冷机房宜采用自然通风方式，当不能满足要求时应采用机械通风方式，换气次数宜取4～6次/h。

（3）地上制冷机房应设置事故后机械通风装置，通风量应根据制冷机冷媒特性和生产厂商的技术要求确定。当资料不全时，事故通风量计算式为

$$L=247.8G^{0.5} \tag{9-23}$$

式中　L——事故后排风量，m^3/h；

G——机房内最大的制冷机冷媒（工质）充液量，kg。

（4）制冷机房应根据制冷剂的种类特性，设置必要的制冷剂泄漏检测及报警装置，并与机房内的事故后通风系统联锁，测头应安装在制冷剂最易泄漏的部位。

（5）监控值班室宜设置空气调节装置。

3. 制冷站房电气设计要求

（1）室内照度不宜小于100lx。仪表集中处应设置局部照明，机房的主要出入口处应设事故照明。

（2）制冷站房内应设有一定数量的低压插座。

（3）制冷站房内应设有电话机。

二、设备布置

1. 系统设备

（1）室内机房及系统设备布置，应符合下列要求：

1）机房主要通道的净宽度，不应小于 1.5m。

2）设备与墙之间的净距不应小于 1.0m，与配电柜的距离不应小于 1.5m。

3）冷水机组与冷水机组或其他设备之间的净距，不应小于 1.2m。

4）设备与其上方管道、烟道、电缆桥架等的净距，不应小于 1.0m。

5）应留出不小于冷水机组蒸发器、冷凝器及换热机组换热器长度的清洗、维修距离。

6）电动压缩式制冷机净高一般为 4～5m，溴化锂吸收式冷水机组设备最高点到梁底不小于 1.5m。

7）分（集）水器的中心线宜距地面 1.2～1.5m。

（2）风冷（热泵）型冷水机组的布置应符合以下要求：

1）宜布置在周围环境清洁、气流通畅的室外。

2）必须充分考虑周围环境对冷水机组进风与排风的影响，确保进风流畅、排风不受阻碍，应防止进、排风气流产生短路。

3）冷水机组进风面距墙宜大于 1.5m，冷水机组控制柜面距墙宜大于 1.2m。

4）多台冷水机组分前后布置时，应避免位于主导风上游的冷水机组排出的冷/热气流对下游冷水机组吸气的影响，两台冷水机组进风侧之间一般不小于 3.0m。

5）冷水机组周围墙面只允许一面墙高于冷水机组高度。

6）冷水机组的排风出口前方，不应有任何受限，以确保射流能充分扩展。

7）冷水机组基础高度一般应高出屋面 300mm，可能有积雪的地方基础应相应提高。

2. 冷却塔

冷却塔的布置应符合以下要求：

（1）冷却塔应设置在室外空气清洁、流通，进出口无障物的场所；不应设置在有高温或有害气体排放处及对飘水和噪声有较高要求的区域。

（2）布置冷却塔时，应防止冷却塔排风与进风之间形成短路的可能和多塔之间相互干扰。

（3）相互平行布置的冷却塔之间的净距离应不小于冷却塔进风口高度的 4 倍。

（4）冷却塔进风侧与相邻建筑物的净距不应小于冷却塔进风口高度的 2 倍。

（5）机组基础高度一般应高出屋面 300mm。

3. 设备基础要求

冷水机组、定压膨胀机组、循环水泵、分（集）水器、分汽缸、补水箱、膨胀水箱等设备及室外管道支架处应设置混凝土平台或混凝土条形基础，混凝土基础尺寸应满足设备的要求。

三、管道系统

（一）管道布置

各管道系统的布置应以方便安装、方便检修为原则，并考虑各类管道布置、连接和检修的方便，减少不必要的交叉。冷（热）水管道的布置应满足以下要求：

（1）冷（热）水管道的最高点及有可能积聚空气的部位，应设置自动排气阀或集气罐。自动排气阀下部应设隔断阀。

（2）冷水机组、定压膨胀机组、循环水泵、分（集）水器等应有给排水措施，冷（热）水系统最低点应设置泄水阀。

（3）温度计、压力表等就地仪表应安装在便于观察的位置。

（4）当冷、热水管道合用或冷水管道直管段较长时，应考虑管道的固定支架与热补偿措施。热补偿应充分利用自然补偿的可能性；当利用管段的自然补偿不能满足要求时，应设置补偿器，热膨胀和补偿器计算与选型见第十章第一节，或见国家建筑标准设计图集 14K206《金属管道补偿设计与选用》。

（5）管道穿过楼板、墙应设置钢套管，套管两端应长出楼板、墙 20mm 以上；当穿越建筑基础墙、变形缝时宜采用柔性连接。套管与管道的缝隙应采用非燃柔性保温材料封堵。

（6）空气调节冷（热）水的水平供回水干管末端宜设有带常闭阀的连通管，以方便调试时水冲洗。

（7）空气调节水管道及冷却水管道应按管道承压要求合理选择管材，通常采用镀锌钢管或无缝钢管。管径小于或等于 DN50 时空气调节冷（热）水管、冷却水管等宜采用镀锌钢管，管径大于 DN50 时宜采用无缝钢管。无缝钢管应满足 GB/T 8163—2008《输送流体用无缝钢管》的规定。

（8）无缝钢管应采用焊接或法兰连接方式，镀锌钢管宜采用丝扣连接，镀锌层应注意保护，对局部的破损处，应做防腐处理。

（二）设备与管道绝热

1. 保冷

空气调节冷水系统及空气调节冷、热水合用系统的循环泵、分（集）水器、供回水管、高位开式膨胀水箱等应保冷。空气调节冷、热水合用系统应按冷、热介质温度，对照绝热材料分别确定冷、热工况的绝热厚度，选用较大值。

2. 保温

（1）蒸汽吸收式冷水机组的热源部分，包括蒸汽管、分汽缸、凝结水箱、凝结水管等应保温。

（2）室外或室内有可能冰冻的管道、阀门等，如冷却水管、补水管等应保温。

设备与管道绝热计算与结构方式的要求见第十一章。

（三）管道支吊架

1. 管道支吊架的布置原则

（1）管道支吊架的间距与形式应符合管道强度、刚度和防振要求。

（2）管道支吊架宜布置在设备接口附近，以避免设备承受管道的荷重、推力和力矩。

（3）管道支吊架宜布置在靠近荷重较大的阀门等附近。

（4）立管应每隔 2～3 层设置导向支架。

（5）补偿器两侧（包括自然补充器、补偿器）应设置固定支架。

（6）管道支吊架应固定在建筑物中允许承力底构件上，如梁、柱、楼板、砖墙及室外混凝土基础上。

（7）冷管道的支吊架应有防冷桥措施。

2. 管道支吊架最大间距

钢管道支吊架的最大间距应满足表 9-33 的规定。固定支吊架的最大间距要求见第十章第一节。

其他材料管道支吊架最大间距见 GB 50243—2002。

3. 典型管道支吊架图

典型管道支吊架图见表 9-34～表 9-37 或见国家建筑标准设计图集 05R417-1，固定支吊架保冷结构如图 9-15 所示。

表 9-33　钢管道支吊架的最大间距

公称直径		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300
支吊架的最大间距（m）	L_1	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	5.0	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5
	L_2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	6.5	6.5	7.5	7.5	9.0	9.5	10.5
	对大于 300mm 的管道可参考 300mm 管道														

注 1. 适用于工作压力不大于 2.0MPa、不保温或保温材料密度不大于 200kg/m^3 的管道系统。
2. L_1 用于保温管道，L_2 用于不保温管道。
3. 本表摘自 GB 50243—2002。

表 9-34　冷 水 管 道 吊 架

序号	公称直径	吊架间距（m）	1	2	3	附图
1	DN32	2	–20×3	M6	D6	3 2 1 木制壳 厚度与保温层一样；保温材料 厚度 δ=30mm 3 2 1 150 保温材料
2	DN40	2				
3	DN50	3	–20×3	M8	D8	
4	DN65	3				
5	DN80	3				
6	DN100	4	30×5			
7	DN125	4				
8	DN150	4				
9	DN200	5				
10	DN250	5	50×8	M12	D12	
11	DN300	5				
12	DN350	5				

表 9-35　　一根冷水管道支架

序号	公称直径	支架间距（m）	尺寸（mm）		1	2	3	4	附　图
			A	B					
1	DN32	2	180	70	−20×3	∠36×4	D8	M8	
2	DN40	2	190	70					
3	DN50	3	200	80	−25×4	∠45×4			
4	DN65	3	210	90					
5	DN80	3	220	110					
6	DN100	4	220	120	−30×5	∠50×4	D10	M10	
7	DN125	4	240	140		∠50×4			
8	DN150	4	260	160		∠63×4			
9	DN200	5	280	190	−40×6	[6.3	D12	M12	
10	DN250	5	300	220		[8			
11	DN300	5	340	250	−50×8	[10	D16	M16	
12	DN350	5	370	300		[12.6			

表 9-36　　二根冷水管道支架

序号	公称直径	吊架间距（m）	尺寸（mm）			1	2	3	4	附　图
			A	B	C					
1	DN32	2	180	70	180	∠56×5	−20×3	M8	D8	
2	DN40	2	190	70	210	∠63×4				
3	DN50	3	200	80	210	[5	−25×4			
4	DN65	3	210	90	220	[6.3				
5	DN80	3	220	110	270	[8		M10	D10	
6	DN100	4	220	120	290	[8	−30×5			
7	DN125	4	240	140	320	[8				
8	DN150	4	260	160	360	[10				
9	DN200	5	280	190	420	[12.6	−40×6	M12	D12	
10	DN250	5	300	220	500	[16a				
11	DN300	5	340	250	550	18a	−50×8	M16	D16	
12	DN350	5	370	300	620	20a				

表 9-37　　冷水管道立管支架

序号	公称直径	尺寸（mm）					支架 2、3	附　图
		A	B	C	D	δ		
1	DN80	150	100	287	215	6	[5	
2	DN100			308	228		[6.3	
3	DN125			333	253		[6.3	
4	DN150			359	273		[8	
5	DN200			519	433		[8	
6	DN250	200	150	573	477	10	[10	
7	DN300			625	529		[10	
8	DN350			677	581		[10	

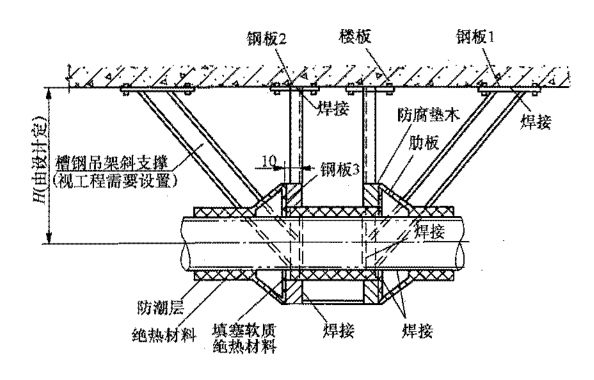


图 9-15 固定支架结构图

注：本图摘自国家建筑标准设计图集 08R418-2《管道与设备绝热——保冷》。

4. 隔声和隔振

（1）隔声。

1）制冷机房内隔声应符合下列要求：

a. 厂前区冷源机房（内设水冷式冷水机组）内表面（包括墙体和顶板）应做好吸声处理，门、窗应做好隔声处理。

b. 有人值守的机房的值班室开向机房的门应采用隔声门，面向机房的观察窗应密封良好，并应采用双层玻璃，值班控制室内噪声应不大于 75dB（A）。

c. 穿越机房围护结构的所有管道与安装洞周围的缝隙，应采用柔性防火封堵材料封堵严密。

d. 机房开向公共区域的门，应采用防火隔声门，隔声量应大于 35dB（A）。

2）制冷机房室外设备噪声控制宜采取以下措施：

a. 风冷式冷水机组宜选用低转速冷却风机和带隔声箱的螺杆式压缩机或全封闭涡旋式压缩机。

b. 冷却塔应选用低噪声型。当低噪声型冷却塔仍不能满足要求时，可采取设置水面材料降低落水噪声、在冷却塔的进排风口外设置消声装置、设置隔声屏障等降噪措施。

（2）隔振。

1）制冷机房下列设备和管道应采取减振措施：

a. 冷水机组、水泵等可能产生较大振动的设备。

b. 受设备振动影响的管道。

2）减振器的自振频率，应按以下方法确定：

a. 应按表 9-38 的要求，确定合理的振动传递率 T。

b. 减振器自振频率计算式为

$$f_0=f[T/(1-T)]^{0.5} \qquad (9\text{-}24)$$

其中 $f=n/60$

式中 f_0——减振器自振频率，Hz；

f——设备运行时的扰动频率，Hz；

n——设备转速，r/min。

表 9-38 各类建筑和设备振动传递率 T 的建议值

按设备种类区分			
设备种类		T	
		地下室、工厂	楼层建筑（两层以上）
泵	≤3 kW	0.30	0.10
	＞3 kW	0.20	0.05
往复式冷水机组	＜10 kW	0.30	0.15
	10～40 kW	0.25	0.10
	40～110 kW	0.20	0.05
密闭式冷冻设备		0.30	0.10
离心式冷水机组		0.15	0.05
空气调节设备		0.30	0.20
管路系统		0.30	0.05～0.10
冷却塔		0.30	0.15～0.20

按设备功率区分			
设备功率（kW）	T		
	地下层、一层	两层以上（重型结构）	两层以上（轻型结构）
≤3	—	0.50	0.1
4～10	0.50	0.25	0.07
10～30	0.20	0.10	0.05
30～75	0.10	0.05	0.025
75～225	0.05	0.03	0.015

3）减振器的类型应根据设备种类和安装场所及减振器自振频率通过计算来确定，或按设备转速确定。

a. 当 f_0＜5Hz 时，应采用金属弹簧减振器（预应力阻尼型）或空气弹簧减振器。

b. 当 5Hz≤f_0＜12Hz 时，宜采用金属弹簧减振器（预应力阻尼型）、空气弹簧减振器或橡胶剪切型减振器。

c. 当 f_0≥12Hz 时，可采用金属弹簧减振器（预应力阻尼型）、空气弹簧减振器、橡胶剪切型减振器或橡胶隔振垫。

d. 当减振器按设备转速 n 确定时，n≤1500r/min 时，可采用弹簧减振器；n＞1500 r/min 时，可采用橡

胶等弹性材料的减振垫或橡胶减振器。

4）弹簧减振器应符合下列要求：

a．设备的运转频率与弹簧减振器垂直方向的自振频率之比，应大于或等于 2.5，宜为 4～5。

b．弹簧减振器承受的载荷，不应超过允许载荷。

c．当共振幅度较大时，宜与阻尼大的材料联合使用。

d．弹簧减振器与基础之间宜增加一定厚度的弹性减振垫。

5）橡胶减振器应符合下列要求：

a．应考虑环境（温度、日照等）对减振器变形量和寿命的影响。

b．计算压缩变形量宜按厂家提供的极限值压缩量的 1/3～1/2 采用。

c．设备的运转频率与橡胶减振器垂直方向的自振频率之比，应大于或等于 2.5，宜为 4～5。

d．橡胶减振器承受的载荷，不应超过允许载荷。

e．橡胶减振器与基础之间加一定厚度的弹性减振垫，且应避免太阳直接辐射或与油类接触。

6）减振措施应满足下列要求：

a．每台设备所配的减振器数量宜为 4～6 个，底座较大或质量较大的设备所配的减震器数量应视实际需要而定。每个减振器的受力及变形应均匀一致。

b．当制冷机房的上层为集中控制室、电子设备室、会议室、办公室等噪声和振动要求标准较高的房间时，受设备振动影响的管道宜设置橡胶减振吊钩吊装。

c．冷水机组、水泵等设备的进出口应设置柔性接头。水泵出口的止回阀宜选用消锤式止回阀。

7）设备与管道的减振安装方法：

a．冷水机组的减振安装方法如图 9-16 和图 9-17 所示。

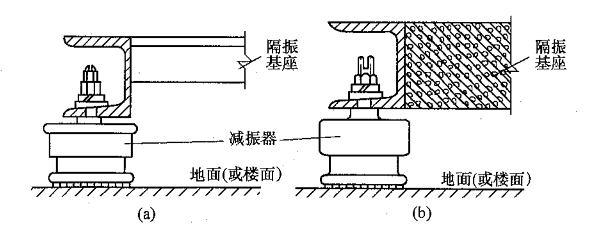
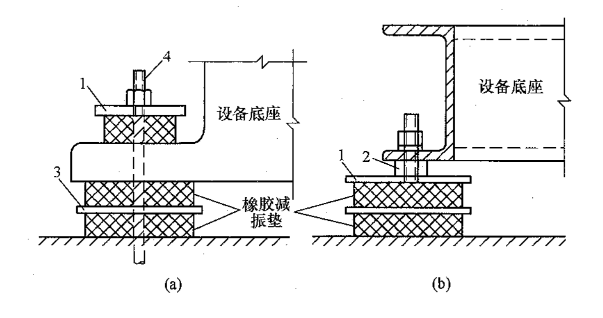


图 9-16　减振器在隔振基座下安装示意图

（a）型钢基座；（b）钢筋混凝土基座

b．水泵的减振安装方法如图 9-18 所示。

c．管道的减振安装方法如图 9-19 和图 9-20 所示。



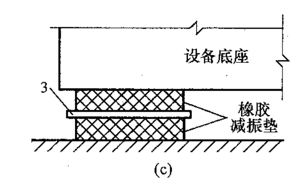


图 9-17　橡胶减振垫的安装示意图

（a）当设备要求地脚螺栓固定时；（b）无固定要求时（一）

（c）无固定要求时（二）

1—10mm 厚钢板；2—12mm 厚钢板，40mm×40mm；

3—2mm 厚钢板；钢板四周比减振垫大 10mm；4—地脚螺栓

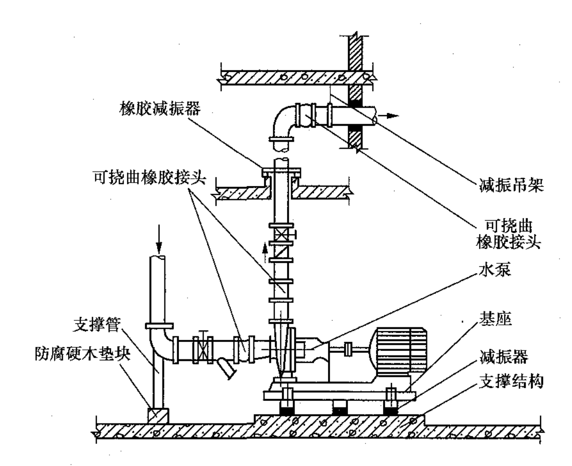


图 9-18　离心水泵在地坪或楼板上安装示意图

四、管道附件

1. 冷水机组附件

（1）电动压缩式冷水机组蒸发器、冷凝器接口顺水流方向宜设置下列部件：

1）进口：截止阀（或蝶阀）、电动切换阀组、温度计、压力表、防振软管。

2）出口：防振软管、压力表、温度计、平衡阀（若有）、水流开关、截止阀（或蝶阀）。

3）电动压缩式冷水机组蒸发器，冷凝器的进、出水管之间宜设置冲洗旁通管。

（2）双效溴化锂吸收式冷水机组蒸汽及凝结水接口宜设置下列部件：

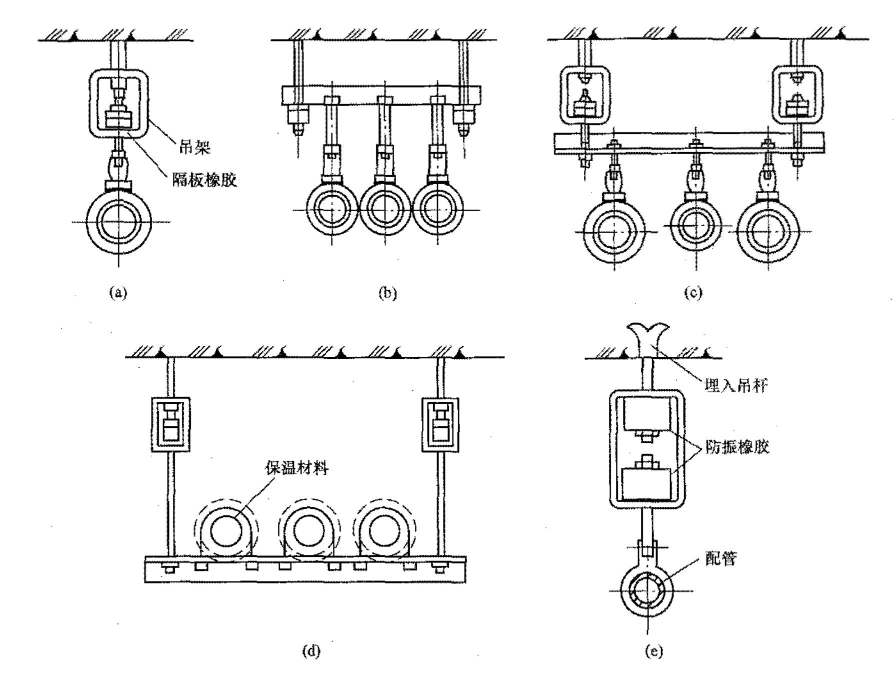


图 9-19 配管吊卡安装示意图

（a）单管隔振吊架；（b）多管单独隔振吊架；（c）多管统一隔振吊架；（d）多管统一隔振支架；（e）隔振吊架的结构形式

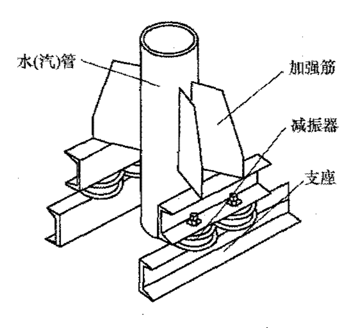


图 9-20 立管轴向固定支座示意图

1）蒸汽接口（顺蒸汽流动方向）：温度计、压力表、安全阀（若前端设有安全阀时可不设）、蒸汽电动调节阀组。

2）凝结水接口（顺凝结水流动方向）：疏水器阀组、止回阀（设备停运凝结水有倒流可能时）。

3）蒸发器、冷凝器接口要求同电动压缩式冷水机组。

2. 冷却塔附件

冷却塔接口宜设置下列部件：

（1）冷却塔自动补水管应设置金属浮球阀，手动补水管、泄水管和溢水管应设置手动切断阀。

（2）冷却塔进、出水管宜设置温度计。

（3）对进水口有余压要求的冷却塔，每台冷却塔进水管上应设置压力表。

3. 定压及补水设备的接管及附件

定压及补水设备的接管及附件设置应满足下列要求：

（1）补水箱应有补水管、快速补水管。正常补水宜采用金属浮球阀自动补水，快速补水管宜深入水箱最低水位下；补水总管管径不宜小于 DN50。当补水入口压力大于 0.2MPa（表压）时，补水总管宜设置减压阀。

（2）补水管、快速补水管、排污管应设置手动切断阀（球阀或截止阀）。

（3）膨胀管上不得设阀门，膨胀管的公称直径可按表 9-39 确定。

表 9-39 膨胀管的公称直径

系统膨胀水量（L）					
系统膨胀水量（L）	空气调节冷水	<150	150～290	291～580	>580
	空气调节热水	<600	600～3000	3001～5000	>5000
膨胀管的公称直径（mm）		DN25	DN40	DN50	DN70

4. 水泵的接管及部件

水泵的接管及部件设置宜符合下列要求：

（1）水泵进水管（按顺水流方向）：闸阀或蝶阀、水过滤器、泄水管、压力表、减振接头。

（2）水泵出水管（按顺水流方向）：减振接头、压力表、止回阀、泄水管、手动调节阀或截止阀。

（3）水泵进水应采用上平异心变径管。

5. 分（集）水器附件

分（集）水器附件设置应符合下列要求：

（1）分（集）水器应设有压力表、温度计。

（2）分（集）水器各支管上应设置手动流量调节阀或静态平衡阀，总管上宜设闸阀或蝶阀。

（3）底部应设有排污管及闸阀或球阀。

6. 其他

（1）蒸汽、水电动调节阀组。

1）水电动调节阀组应包括截止阀、过滤器（若有）、电动调节阀。

2）蒸汽电动调节阀组宜按蒸汽流动方向设置截止阀、过滤器（若有）、电动调节阀、手动截至阀，并设置旁通管及手动旁通阀。

（2）常用阀门选用原则。

制冷站常用阀门主要包括截止阀、闸阀、球阀、蝶阀、调节阀、止回阀、平衡阀、自动放气阀、安全阀、减压阀和疏水器等。各类阀门应满足介质压力与温度要求，并满足系统耐压要求。各类阀门的选用见国家建筑标准设计图集 07K201《管道阀门选用与安装》。

1）截止阀一般用于切断流动介质，具有方向性，不允许介质双向流动。截止阀的特点是局部阻力较大，密闭性优于闸阀，有较小的调节压力和流量的作用。

2）闸阀与球阀适用于切断流动介质，介质可双向流动。闸阀的特点是阻力较小，且不易被异物堵塞，但阀体较大，开关时间较长；球阀的特点是阻力较大，但阀体较小，开关迅速。

3）蝶阀的作用与闸阀相同，特点是外形小巧。当直径小于 150mm 时，采用手柄式蝶阀（D71X、D41X）；当直径大于 150mm 时，采用蜗轮传动式蝶阀（D371X、D341X）。

4）调节阀用来调节流量或压力，具有方向性，不允许介质双向流动，一旦调整完毕宜将手轮卸下或做好标识，相同开闭应另外设置其他阀门。

5）止回阀是保证介质单向流动，防止倒流的自动阀门，具有方向性。常用止回阀有旋启式、升降式两种。旋启式止回阀可安装于水平、垂直或倾斜的管路上，升降式止回阀可安装于水平管路上。

6）蒸汽、凝结水管路上的阀门宜选用钢制阀门。

7）平衡阀亦称水力平衡阀，可进行水量测量、调整，并具有开度指示、记忆等功能。平衡阀有静态和动态两大类。动态平衡阀又可分自力式流量控制阀和自力式压差控制阀。

a. 静态平衡阀作用与调节阀基本相同，适用于定流量系统。

b. 自力式流量控制阀适用于定流量系统，在管网供回水压差发生变化时，流经被控设备或管路的流量恒定。自力式流量控制阀可安装在冷水机组冷水出口、冷却水出口，一次泵系统集水器各环路入口等。

c. 自力式压差控制阀一般由安装在被调系统供水管路上带有压力传感器的静态平衡阀和安装在被调系统回水管路上的压差调节器两个部件组成，适用于变流量系统，在管网供回水压差发生变化时，自动调整手动平衡阀开度，使阀后压差稳定。

8）自动放气阀通常设置在设备及管道的高位或局部高位，用来排除积聚在设备、管道内空气，防止气塞现象。自动排气阀的规格有 DN15 和 DN20 两种，其最大工作压力为 1.0MPa，最高工作温度为 110℃。为便于检修，自动放气阀入口宜设球阀。

9）安全阀、减压阀和疏水器的选用要求参见第二章第二节。

第七节　集中冷（热）源系统自动监控

集中冷（热）源系统自动监控的主要目的是保证供给空气调节末端设备参数在合理范围内，并根据室外气象参数和室内负荷的变化，控制冷（热）源系统提供冷（热）量，达到安全与节能运行、稳定的供冷（热）量、降低人员操作强度。

随着国家节能减排政策的推进，自动控制系统技术的迅猛发展，发电厂减员增效的要求，发电厂空气调节冷（热）源系统采用自动监控系统成为常规设计要求。

一、自动监控系统的形式与内容

1. 自动监控系统的形式

发电厂集中冷（热）源系统自动控制应与全厂工艺专业总体控制水平相适应，当全厂暖通空气调节系统设有自动监控系统时，集中冷（热）源系统应接入全厂暖通空气调节自动监控系统，并宜与电厂辅助控制系统联网。当发电厂仅设置厂前区集中冷（热）源站，且空气调节末端系统主要是风机盘管+新风系统时，集中冷（热）源系统宜采用一个相对独立的就地自动监控系统。

目前，发电厂集中冷（热）源系统主要采用集散式监控系统和直接数字控制系统两种方式。集散式监控系统现场控制器通常采用可编程控制器（PLC），直接数字控制系统采用直接数字控制器（DDC）。

2. 自动监控系统的内容

采用集中监控系统控制的动力设备应设就地手动控制装置，并通过远动/手动转换开关实现远程控制与

就地手动控制的转换，并且应在使用就地手动控制时，切断远程控制。远动/手动转换开关状态应作为集中监控系统的输入参数。

发电厂集中冷（热）源系统自动监控应包括以下主要内容：

（1）参数检测。

（2）参数和设备状态及故障显示。

（3）自动调节与控制。

（4）工况自动转换。

（5）设备联锁及自动保护。

（6）能量（电、蒸汽和热水）、水的计量。

（7）集中冷（热）源系统监控与管理。

二、自动监控系统的设计分工

自动监控系统设计一般由暖通专业配合自动化专业完成。

1. 自动化专业主要设计内容

（1）集中冷（热）源系统 PID 流程图的绘制。

（2）监控 I/O 点表的编制。

（3）系统监控管理站的选型及布局。

（4）系统网络结构。

（5）控制系统供电配置方案。

（6）控制器（包括 I/O 模块）的型号、数量、安装部位。

（7）传感器、执行器的型号、数量、安装部位。

（8）网络设备（包括与辅控网的联网接口设备）的型号、数量、安装部位。

（9）控制系统电源线、信号线、控制线、通信线缆选型。

（10）线缆敷设设计。

2. 暖通专业主要设计内容

（1）应在便于观察的地点，设置反映代表性参数的就地观测仪表。

（2）确定各系统的控制方案，配合设计各系统的控制软件。

（3）确定监测控制点及联动联锁环节。

（4）配合确定和提供传感器和执行器的设置位置。

（5）配合选择和设置传感器、控制器、执行器，进行水路和蒸汽自动控制阀的计算和选择或向自动控制阀的生产厂提供自动控制阀的选型参数。

常用的传感器、控制器、执行器、自动控制阀选择计算参见第三章第五节。

（6）提供设备及系统的控制原理图及监控要求，包括工况转换分析及边界条件、控制点设计参数值等。

（7）提供运行管理的节能控制方案。

三、自动监控系统的组成

1. 设备自动监控

冷水机组、凝结水回收机组、定压膨胀机组、水处理装置、在线清洗装置等对自带控制系统的机电一体化设备本身通常都配有功能完善的 PLC 或 DDC 控制系统，能实现对机组部件状态参数的监控、能量调节、设定值恒定、安全保护、故障报警等功能，并留有与外界的通信接口或硬接线接口，实现与全厂暖通空气调节自动监控系统联网，对设备的全面监视和控制。

自动监控系统应对冷水机组、凝结水回收机组、定压膨胀机组、水处理装置、在线清洗装置的工作状态（包括手/自动状态、运行状态和故障状态、启停次数、累计运行时间）及下列参数进行监测：

（1）冷水机组。

1）电动压缩式冷水机组：蒸发器进/出口水温、压力，冷凝器进/出口水温、压力，制冷量百分比。

2）蒸汽溴化锂冷水机组：蒸汽、凝结水的温度、压力，蒸发器进/出口水温、压力，冷凝器进/出口水温、压力，制冷量百分比。

（2）凝结水回收机组。凝结水箱内的压力与水位、凝结水泵进出口压力、凝结水流量。

（3）定压膨胀机组。系统定压点的压力、补水箱高/低液位及补水量（必要时）、补水泵进出口压力。

2. 冷水系统及冷却水系统监测与控制点

（1）一次泵冷水系统。监测与控制点主要包括以下内容：

1）冷水机组蒸发器出口水流极限（水流开关）。

2）供水、回水总管的水温及水压。

3）回水总管的总水流量。

4）循环水泵及补水泵（若有）进出口压力或压差。

5）定压点的压力。

6）膨胀水箱及补水箱（若有）低水位与高水位、补水量。

7）水过滤器前后压差。

8）冷水机组蒸发器出口电动水阀及电动压差旁通阀的开度及阀位反馈。

（2）二次泵冷水系统。监测与控制点主要包括以下内容：

1）冷水机组蒸发器出口水流极限（水流开关）。

2）一次侧供水/回水母管及二次侧各供水、回水总管的水温及水压。

3）一次侧回水总管的总水流量。

4）一次冷水泵、二次冷水泵及补水泵（若有）工作状态及水泵进出口压差。

5）定压点的压力。

6）膨胀水箱及补水箱（若有）低水位与高水位、

补水量。

7）水过滤器前后压差。

8）冷水机组蒸发器出口电动水阀及一、二次侧电动压差旁通阀的开度及阀位反馈。

（3）冷却水系统。监测与控制点主要包括以下内容：

1）冷水机组冷凝器出口水流极限（水流开关）。

2）冷却塔冷却风机变速或变频反馈、低水位与高水位。

3）冷却水泵工作状态及水泵进出口压差。

4）水过滤器前后压差。

5）冷水机组冷凝器出口、冷却塔进/出水管上电动水阀开/闭，冷却水水温控制电动旁通阀开度及阀位反馈。

6）（冷却水供冷时）板式换热器一、二次侧进/出口温度、压力。

7）室外温度、湿度。

3. 集中冷（热）源系统的联锁控制要求

（1）制冷站冷（热）水及冷却水系统的启停顺序：冷源侧定流量运行时，冷水泵、冷却水泵运行台数应与冷水机组、冷却塔相对应。制冷站冷（热）水及冷却水系统的相关设备应按下列顺序启动：冷却水电动水阀→冷却水泵→冷水电动水阀→一、二次循环冷水泵→冷却塔风机→冷水机组，冷水机组在冷水水流得以证实后启动；系统停机时上述顺序应相反；当采用停开冷却塔风机控制冷却水温时，冷却塔风机应能在冷水机组运行过程中受水温控制启停。

（2）2 台和 2 台以上冷水机组和一次冷水泵之间通过共用集管连接和运行时，每台冷水机组入口或出口管道上的电动隔断阀，应与对应运行的冷水泵和冷却水泵联锁开闭。

（3）2 台和 2 台以上冷却塔通过共用集管连接和运行，并在每台冷却塔支管设置电动隔断阀时，电动隔断阀应与对应运行的冷却水泵联锁开闭。

（4）备用机组自动投入运行（包括运行切换和故障切换）。

4. 集中冷（热）源系统的主要控制方式

集中冷（热）源系统的主要控制方式应满足下列要求：

（1）设置多台冷水机组的水系统，宜根据系统冷（热）量变化控制冷水机组的运行台数。

（2）冷水一次泵系统总供、回水管之间的旁通调节阀应采用压差控制，压差测点宜设在总供、回水管路中压力相对稳定的位置，压差设定值应经计算确定。

（3）空气调节冷水二次泵系统二级冷水泵运行台数宜采用流量控制方式，频率或转速宜根据系统压差变化控制，系统压差测定点宜设在最不利环路干管靠近末端处。

（4）冷却水系统，宜对冷却水的供水温度采取以下调节措施：

1）可采用根据冷却塔出水温度控制冷却塔风机转速或开启台数的方法。

2）过渡季运行的冷却塔，应根据使用期间室外湿球温度和冷水机组对冷却水的温度要求确定采用在冷却水供回水管之间设置旁通调节阀控制水温的方法或采用停开冷却塔风机的方法。

（5）集中冷（热）源站（一次泵系统）集中监控系统如图 9-21 所示。

四、冷（热）源站自动控制阀的选用

1. 自动控制阀选择原则

自动控制阀应根据受控介质、温度、压力、使用场所和流量特性等因素来选择，并宜满足下列要求：

（1）仅起开关作用的阀门应选用双位控制阀或电磁阀。

（2）冷水一次泵系统供回水母管上的旁通阀及二次泵系统二级泵组的旁通阀宜选直线型压差控制阀门。

（3）（冷却塔供冷时）板式换热器冷侧控制流量的阀门，宜采用等百分比特性的两通调节阀，且应具有在断电时能够自动复位关闭功能。

（4）蒸汽流量控制阀应选用直线型两通单座阀，且应具有在断电时能够自动复位关闭功能。

（5）用于控制冷却塔出水温度的调节阀可采用电动三通分流阀或电动旁通二通阀。

（6）自动控制阀宜采用电动执行机构。

2. 水（汽）控制阀口径的确定

（1）采用双位（开/关）控制阀时，可按所接管道直径直接选择阀径。

（2）水量调节阀的选择计算见第三章第五节，所选调节阀的 K_v 值应大于且接近计算值，也可根据计算值上靠一挡。

初步设计时，电动调节阀的口径可按表 9-40 初选，施工图时应根据制造商提供的技术参数复核电动调节阀口径。

（3）除控制冷却塔出水温度采用电动三通分流阀外，电动三通调节阀通常采用三通混合阀，选择计算时应使通过三通阀两个通路的阻力相等，将阻力大的一路接到直通支管上，或将旁通支管减小管径或设调节阀来控制。当采用对称型阀门时，应选用抛物线特性；当采用非对称型阀门时，应选用直通支路为等百分比特性、旁通支路为直线特性。

（4）压差旁通阀应按照通过旁通管的流量及阀两端的实际工作压差来确定。初步设计时，一次泵系统供回水母管上的旁通阀可按一台冷水机组通过的流量所选管径小 1 号来估算。

（5）蒸汽调节阀的选择计算见第三章第五节。

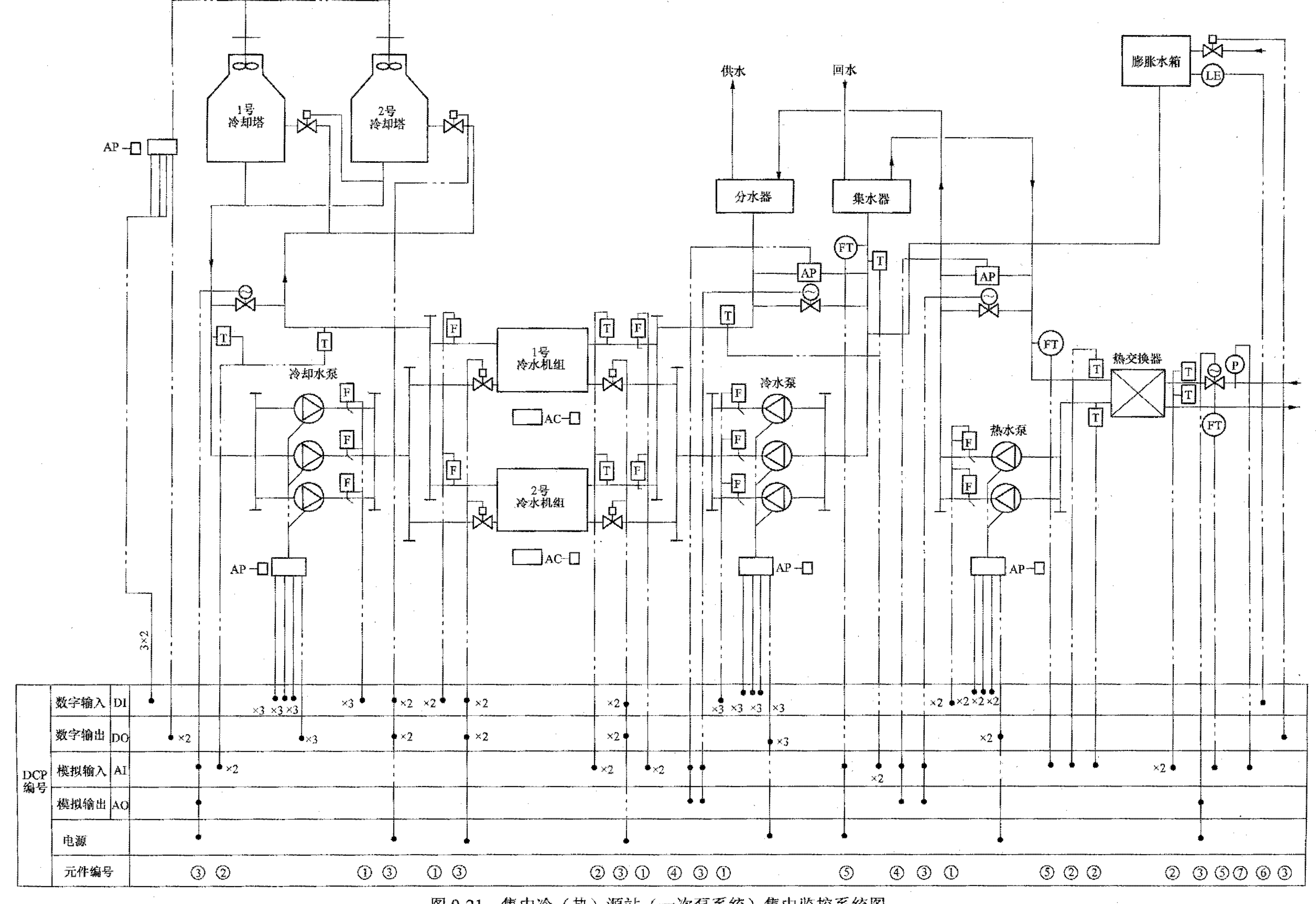


图9-21 集中冷（热）源站（一次泵系统）集中监控系统图

①—水流开关；②—水温传感器；③—阀门执行器；④—水静压差传感器；⑤—流量测量元件；⑥—液位传感器（开关）；⑦—压力传感器

表 9-40　　电动两通调节阀（介质为水）口径估算

公称直径(mm)	C_v	K_v	工作压差						
			10kPa	20kPa	40kPa	100kPa	200kPa	300kPa	400kPa
			G（m^3/h）						
DN15	1	1	0.3	0.4	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0
DN20	7	6	2.0	2.8	4.0	6.3	8.9	10.9	12.6
DN25	12	10	3.2	4.5	6.3	10.0	14.2	17.3	20.0
DN32	19	16	5.1	7.2	10.1	16.0	22.6	27.7	32.0
DN40	29	25	7.9	11.2	15.8	25.0	35.4	43.3	50.0
DN50	47	40	12.7	17.9	25.3	40.0	56.6	69.3	80.1
DN65	74	63	19.9	28.2	39.9	63.0	89.2	109.2	126.1
DN80	117	100	31.6	44.8	63.3	100.1	141.5	173.3	200.1
DN100	169	145	45.9	64.9	91.8	145.1	205.2	251.3	290.2
DN125	257	220	69.6	98.5	139.2	220.2	311.4	381.3	440.3
DN150	373	320	101.3	143.2	202.5	320.2	452.9	554.7	640.5
DN200	525	437.5	138.4	195.8	276.9	437.8	619.2	758.3	875.6

注　C_v值为英制阀门流通能力系数，C_v=1.167K_v；K_v为公制阀门流通能力系数；工作压差为阀全开时的压力损失；G为通过阀门的设计水量。

第十章

厂区供暖管网及供冷管网

第一节 供暖、供冷管网的规划与布置

一、供暖、供冷管网的规划设计原则

（一）规划设计原则要求

（1）厂区供暖供冷管网布置根据厂区的总平面布置图、竖向布置图、地形图、地区的气象资料以及地上、地下建构筑物现状和扩建情况等基础资料进行。

（2）厂区供暖、供冷管网布置满足厂区内各建筑供暖、通风、空气调节等不同热负荷的要求；并应考虑电厂扩建，主干管应按最终容量考虑，一次建成。

（3）厂区内的供暖、供冷管网敷设宜与生产工艺及其他管路结合起来，优先考虑敷设在厂区综合管架上。

（4）地下管线敷设应尽量经过地势平坦、土质好、地下水位低的地区。

（5）注意对周围环境的影响，对厂容、厂貌的影响，并尽量不妨碍建筑物的自然采光和通风。不影响交通运输、人流通行、消防和检修通行。

（6）注意与厂内设施相结合，协调排列、合理布置、避免冲突，相互之间的距离应能保证运行安全，便于施工安装和维修。

（二）布置原则

（1）主干线应力求短直，并尽量先经过负荷较为密集的地区。

（2）应平行或垂直于道路或建筑物。绿化区外的工程区内，不应穿越因汽水泄漏会引起事故的场所、仓库、堆场以及扩建的预留地段。避免在主要道路或路面下敷设，在一定条件下，可以选在人行道下面；避免穿越厂区铁路、重车道路及其他管线、管沟等，并应注意整齐、美观。当通过铁路或重车道路时，应垂直交叉，若垂直交叉有困难时，管道与铁路或道路的交叉角度不应小于 60°。与公路、河流交叉时不得小于 45°。

（3）尽量减少并行管路和回头路。

（4）地沟敷设的管线，一般不应同地下敷设的其他管线重合。

二、供暖、供冷管网布置形式

（一）支状布置

支状布置方式是电厂中最常用的形式，支状管网简单，管材耗量少，投资省，运行管理简便。

支装管网管径随着其与冷源、热源距离的增加和用户的减少而减少。

支状管网没有后备性能，当管网某处发生故障时，尤其是事故点发生在冷源、热源附近时，在损坏点以后的用户将停止供冷或供暖。

最不利环路的主干管上减少接出支管数量，避免只有一个单体建筑的接出，减少短路造成的冷、热网不平衡。

支状布置如图 10-1 所示。

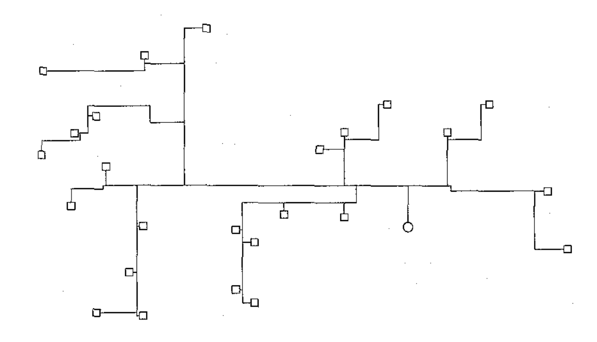


图 10-1 支状布置图

○—冷源、热源；□—用户

（二）环状布置

环状布置方式是用较大直径的管道将支状管网的主干线连接起来构成环状管网。与支状布置相比，管材耗量多，投资增大，运行管理复杂，但具有后备性能。

环状布置方式在火力发电厂厂区用的少，通常使用在不允许停止供冷或供暖的情况，如伊敏电厂内的

供暖管网。

环状布置如图 10-2 所示。

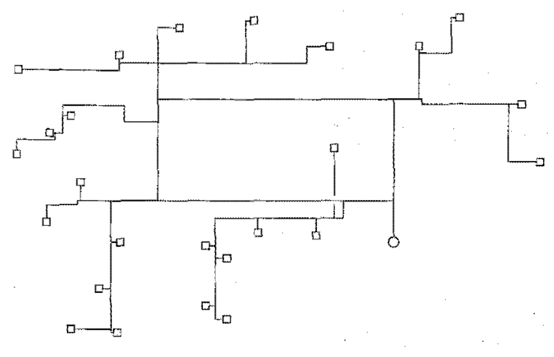


图 10-2　环状布置图

○—冷源、热源；□—用户

三、供暖、供冷管网敷设原则

（一）敷设方式

（1）厂区的供暖、供冷管网宜采用地上敷设。

（2）在厂区综合管架上敷设时，为每个用户处引接支管方便和管道补偿，宜靠边布置，如管架的上层、下层或中间层的侧边。

（3）地上敷设的供暖、供冷管道与其他管道敷设在同一管架上，应便于检修，并应布置在腐蚀性介质管道、自来水管道和重油管道的上方，燃气管道的下方。蒸汽管道不能敷设在电缆桥架的下方。与热力管道合并设置支架时，冷水管道应布置在热力管道的下部。

（4）冷水或热水管道敷设在地下时，宜采用直埋敷设。

（5）地下敷设时，应保证不被地下水淹没。当多雨地区或地下水位高的地区，不能保证防水；或虽然可采用有效防水措施，但经济上不合理时，管网应采用地上敷设。

（6）地质为湿陷性大孔土壤、湿陷性黄土或具有较强腐蚀性，不适宜地下直埋敷设时，采用地上敷设。湿陷性黄土地区，管道及其入口装置应尽量明设，对地下管道必须设置管沟，但其阀门等不宜设在沟内。

（7）地沟敷设，当管道数量不多且管径较小时，可按不通行地沟敷设；当管道数量多或管径较大的干管和主要支管时，可采用半通行或通行地沟敷设。半通行地沟净高不低于 1.2m，单侧布置时其通道宽度不小于 500mm；双侧布置时其通道宽度不小于 700mm。通行地沟净高不低于 1.8m，通道宽度均不宜小于 700mm。

（8）管径小于或等于 300mm 的管道，可穿过建筑物的地下室或用开槽施工法自建筑物下专门敷设的通行管沟内穿过。用暗挖法施工穿过建筑物时不受管径限制。

（9）管道地沟敷设时，供暖、供冷管道可以与自来水管道、电压 10kV 以下的电力电缆、通信线路、压缩空气管道、压力排水管道和重油管道一起敷设在综合管沟内，严禁与输送易挥发、易爆、有害、有腐蚀性介质的管道和输送易燃液体、可燃气体、惰性气体的管道敷设在同一管沟内。供暖管道应高于冷水管道和生活水管道和重油管道，并且生活水管道应做保温层和防水层。

（二）管道布置

1. 管网系统

（1）供暖和供冷管网应采用闭式双管制系统。供暖用蒸汽管网的凝结水回收宜采用闭式系统。

（2）负荷变动较大或常年运行的蒸汽管道应与供暖蒸汽管道分开设置，采用独立的管网系统。

2. 管道坡度

（1）蒸汽和热水管路的坡度应满足整个系统能泄水和排除空气。蒸汽管道应坡向蒸汽的流向，热水管道以与流水方向逆坡为宜。当架空敷设的管道设置坡度有困难时，可不设坡度；当地沟随地形坡度敷设时，管道的坡度宜与地沟坡度一致。

（2）供暖、供冷管道及坡向蒸汽流动方向的蒸汽管，坡度值不应小于 0.002；坡度与蒸汽流动方向相反的蒸汽管，坡度值不应小于 0.005；凝结水管的坡度取 0.002～0.005。

（3）进入建筑物的管道宜坡向室外干管。

3. 阀门

（1）在冷源、热源出口处的干管上应装设关断阀门。

（2）在与干管相连接的分支管道上均应装设阀门，以便减少分支管路发生故障时，对整个管网的影响。

（3）每一个用户支管上，一般都应装设两个阀门，一个阀门装在靠近分支点处，另一个装在用户引入口处。

（4）冷水、热水和凝结水管道的高点应安装放气管道和阀门，放气管道规格应符合表 10-1 的规定。

表 10-1　放气管道规格　（mm）

项目	规格			
冷水管道、热水管道和凝结水管道公称直径	DN25～DN80	DN100～DN150	DN200～DN300	DN350～DN450
放气管道公称直径	DN15	DN25	DN25	DN32

（5）冷水、热水和凝结水管道的低点应安装放水管道和阀门，放水管道的管径应在管内平均流速为 1m/s 时，在 1h 内能放空该管段内的水。放水管道规格可参考表 10-2 选择。

表 10-2　　放水管道规格　　(mm)

项目	规格				
冷水管道、热水管道、凝结水管道公称直径	DN25～DN125	DN150	DN200～DN300	DN350～DN400	DN450～DN600
放水管道公称直径	DN25	DN40	DN50	DN80	DN150

注　停止供热期间无冻结的地区放水时间不受此表限制。

(6) 厂区蒸汽管道的疏、排水应同时满足下列条件：

1) 蒸汽管道的疏、排水间隔不应大于 200m。启动排水管的管径一般为蒸汽管径的 1/10，但不小于 DN20。

2) 蒸汽管道的最低点和垂直升高的管段前应设启动疏水、经常疏水和排水装置，疏水器应选用自动疏水器，阀门应选用钢制阀门。

3) 疏水装置应设置在便于操作维修处或疏水检查井内。

4) 疏、排水管道应引至安全的地方，不应直接排至厂区排水系统。

5) 疏、排水管道应靠近固定点设置，并应进行应力验算。

6) 蒸汽疏水管道规格可按照表 10-3 的规定选择。

表 10-3　　蒸汽疏水管道规格　　(mm)

项目	规格			
蒸汽管道公称直径	DN25～DN80	DN100～DN150	DN200～DN250	DN300～DN500
启动疏水管道公称直径	DN25	DN40	DN50	DN80
经常疏水管道公称直径	DN15	DN20	DN20	DN25
疏水器旁通管道公称直径	DN15	DN20	DN20	DN25

(7) 当蒸汽管关断阀门设置旁通管时，旁通管规格可按照表 10-4 的规定选择。

表 10-4　　阀门旁通管规格　　(mm)

项目	规格		
蒸汽管道公称直径	<DN200	DN200～DN250	DN300～DN500
疏水器旁通管道公称直径	—	DN25	DN50

(8) 供暖室外计算温度低于−5℃地区露天敷设的不连续运行的凝结水管道的放水阀门，供暖室外计算温度低于−10℃地区露天敷设的热水管道设备附件均不得采用灰铸铁制品。供暖室外计算温度低于−30℃地区露天敷设的热水管道，不允许使用可锻铸铁阀门，应采用钢制阀门及附件。蒸汽管道在任何条件下均应采用钢制阀门及附件。

4. 管道连接方式

架空和地沟敷设的供暖、供冷管道需要拆卸处(如阀门、设备、仪表等）应采用法兰连接，法兰的材料及压力等级应符合管道要求。管道连接应采用焊接。

直埋管道采用焊接连接。

5. 建筑物入口设置

厂区供暖热水管网、冷水管网与各用户宜采用直接连接的方式。

与供冷或供暖管道连接的各建筑物入口内，应装设压力表、温度计、过滤器及旁通阀、关闭阀和水力平衡装置等。水力平衡装置宜设在回水管上。

入口处安装的水力平衡装置应根据管网调节方式和特点选型。当管网定流量运行时，宜选择静态平衡阀或自力式流量控制阀；当管网变流量运行时，宜选择动态平衡阀或自力式差压控制阀。

建筑物入口示意图如图 10-3 所示。

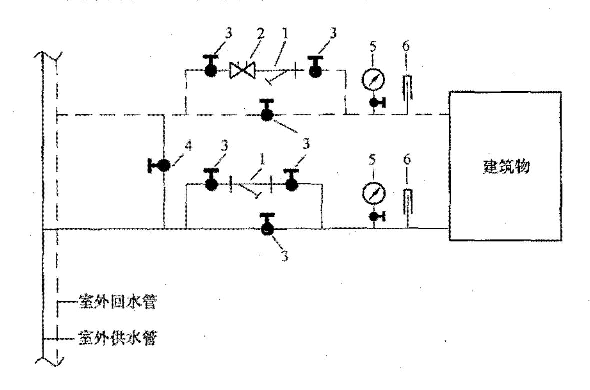


图 10-3　建筑物入口示意图

1—过滤器；2—水力平衡装置；3—关闭阀；4—旁通阀；5—压力表；6—温度计

四、管道架空敷设

(一) 敷设原则要求

架空敷设是地上敷设，宜敷设在厂区综合管架或独立支架上，也可沿着建筑物及构筑物的外墙、栈桥等敷设。

管架柱应尽量避开建筑物门窗正对的位置，以免影响出入及通风采光。管架柱外边距建筑物外墙边的距离：无门窗、墙壁时，大于 1.5m；有门窗、墙壁时，大于 3m。

(二) 架空管架分类

1. 按高度划分

电厂架空管架主要有三种：

(1) 低支架管架。低支架距地面的净高度一般为

0.3～1m，不应低于 0.3m，并高出积雪层的高度。敷设在不妨碍交通及行人通行的地段，不影响厂区的美化及扩建，保温结构应有足够的机械强度和可靠的防护设施。

（2）中支架管架。中支架距地面的净高度一般为 2.5～3m，不应低于 2m，在不通行或非主要通行车辆的地段、人行交通不频繁的地方敷设，仅满足厂区内人流通行的净空要求。

（3）高支架管架。高支架距地面的净高度一般大于 5m，不应低于 4.5m，跨越厂区主要干道，跨越障碍物和车辆通行的地区。跨越铁路的支架净高度不应低于 6m。

2. 按用途划分

按用途分为固定支架和滑动支架。

3. 按支撑结构划分

管道地上敷设所用的支撑结构，有砖砌体、毛石砌体、钢筋混凝土结构、钢结构和木结构等。

电厂内管道的支撑结构主要有钢筋混凝土结构、全部钢结构及钢筋混凝土支柱-钢梁（或钢桁架）组合式管架。

（三）管架与架空电缆

地上敷设的热网管道在架空输电线下通过时，管道上方应安装防止导线断线触及管道的防护网，防护网的边缘应超出导线最大风偏范围。

地上敷设的冷网或热网管道同架空输电线交叉时，管网的金属部分以及交叉点两侧 5m 范围内钢筋混凝土结构的钢筋应接地，接地电阻不应大于 10Ω。

（四）敷设最小距离

厂区架空供暖管道与建（构）筑物、交通线路及架空导线之间的最小水平和交叉净距见表 10-5。

五、管道地沟敷设

（一）敷设尺寸

冷网或热网管道地沟敷设的相关尺寸见表 10-6。

表 10-5　厂区架空供暖管道与建（构）筑物、交通线路及架空导线之间的最小水平和交叉净距

序号	名　称		最小水平净距（m）	最小交叉净距（m）
1	一、二级耐火等级的建筑物		允许靠外墙	—
2	铁路钢轨外侧边缘		3.0	轨顶一般：5.5
				电气铁路：6.55
3	道路路面边缘、排水沟边缘或路堤坡坡脚		0.5～1.0	距路面：4.5
4	人行道路边		0.5	距路面：2.5
5	架空输电线路（导线在供热管道上方）	1kV 以下	导线最大风偏时：1.5	管道有人通过时：2.5
				无人通过时：1.5
		1～10kV	导线最大风偏时：2.0	2.0
		35～110kV	导线最大风偏时：4.0	4.0
		220kV	导线最大风偏时：5.0	5.0
		330kV	导线最大风偏时：6.0	6.0
		500kV	导线最大风偏时：6.5	6.5
6	树冠		0.5（到树中不小于 2.0）	—
7	公路路面		—	5.0

表 10-6　冷网或热网管道地沟敷设的相关尺寸　（m）

管道地沟类型	相关尺寸					
	管道地沟净高	人行通道宽度	管道保温外表面与沟壁净距	管道保温外表面与沟顶净距	管道保温外表面与沟底净距	管道保温外表面之间的净距
通行管沟	≥1.80	≥0.60	≥0.20	≥0.20	≥0.20	≥0.20
半通行管沟	≥1.20	≥0.50	≥0.20	≥0.20	≥0.20	≥0.20
不通行管沟	—	—	≥0.10	≥0.05	≥0.15	≥0.20

（二）敷设方式

1. 通行地沟

（1）当管道沿不允许开挖的路面敷设，或管道数量较多、管径较大，管道垂直排列高度等于或大于 1.5m 时，宜采用通行地沟。

（2）通行地沟的最小净断面应为 1.2m（宽）×1.8m

（高），通道的净宽一般宜取 0.7m，当采用横贯地沟断面的支架时，支架下面的净高不应小于 1.7m。

2. 半通行地沟

（1）当管道数量较多，采用单排水平布置地沟宽度受限制，且需要考虑能进行一般的检修工作时，可采用半通行地沟。

（2）沟内管道应尽量采取沿沟壁一侧单排上下布置，沟最小断面应为 0.7m（宽）×1.4m（高），通道的净宽一般宜取 0.5～0.6m，当采用横贯地沟断面的支架时，支架下面的净高不应小于 1m。

（3）通行地沟、半通行地沟断面形式如图 10-4 和图 10-5 所示。

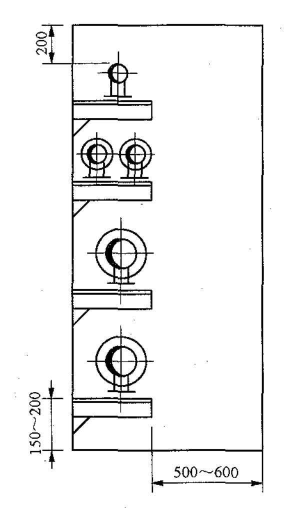


图 10-4　通行、半通行地沟单侧布置图

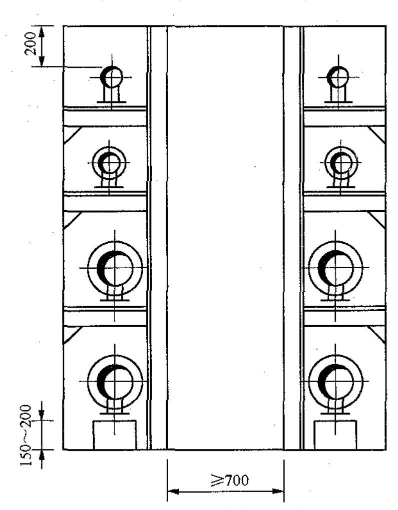


图 10-5　通行、半通行地沟双侧布置图

3. 不通行地沟

（1）当管道数量不多，且维修工作量不大时，宜采用不通行地沟。

（2）不通行地沟宽不宜超过 1.5m，超过 1.5m 时宜采用双槽地沟，地沟内管道一般应为单排水平布置。

（3）地沟埋深不宜过大，一般在地下水位以上。

（4）地沟敷设的直线管段每隔 200m 在低处应设置检查井和集水坑。

（5）不通行地沟断面尺寸如图 10-6 和表 10-7 所示。

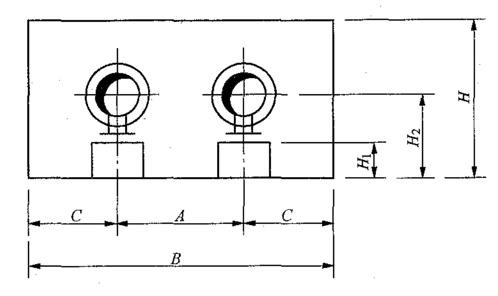


图 10-6　不通行地沟断面尺寸图

表 10-7　不通行地沟断面尺寸　（mm）

公称直径	宽度			高度		
	C	A	B	H_1	H_2	H
DN50	250	300	800	150	270	500
DN65	250	350	850	150	270	500
DN80	260	380	900	150	295	500
DN100	270	410	950	150	310	500
DN125	300	450	1100	150	330	600
DN150	340	470	1150	150	350	650
DN200	350	550	1250	150	370	700
DN250	375	600	1350	200	460	800
DN300	400	650	1450	200	490	850
DN350	425	750	1600	200	520	900

（三）敷设一般要求

（1）地沟内应设集水坑，地沟底纵向坡度与主要管道坡度相一致，不小于 0.002，并坡向集水坑。集水坑内水应排向厂内排水系统。

（2）地沟和检查井的内外墙面和底板应采取防水措施，地沟盖板顶应有 0.01～0.05 的横向排水坡度，各盖板之间的缝隙应勾抹水泥砂浆，以确保地沟和检查井严密不透水。

（3）冷网或热网管沟敷设时，管沟盖板或检查室盖板顶面覆土深度不宜小于 200mm。路面下的检查井盖板顶面不小于 300mm。非路面区，人孔应高出周围地坪不得少于 400mm，最小不少于 100～150mm。上述高度仅考虑满足人行步道的地面铺装和检查井盖高度的要求。当盖板以上需要种植草坪或花木时，应加大覆土深度，严寒地区或道路路面下管沟盖板顶不小于 500mm。

（4）通行管沟人孔间距不宜大于 100m，半通行管

沟人孔间距不宜大于60m。每条沟的人孔数目不应少于2个。人孔直径一般不应小于0.6m。人孔宜设置在有补偿器的位置。

（5）整体混凝土结构的通行管沟，每隔200m宜设一个安装孔。安装孔宽度不应小于0.6m，且应大于管沟内最大管道的外径加0.4m，其长度应满足6m长的管子进入管沟。当需要考虑设备进入时，安装孔宽度还应满足设备进、出的需要。

（6）地下敷设管道与铁路或不允许开挖的道路交叉，交叉段的一侧留有足够的抽管检修地段时，可采用套管敷设。

管道套管敷设时，套管内不应采用填充式保温，保温管道层与套管间应留有不小于50mm的空隙。套管内的管道及其他钢部件应采取加强防腐措施。采用钢套管时，套管内、外表面均应作防腐处理。

（7）地上敷设管道与地下敷设管道连接处，地面不得积水，连接处的地下构筑物应高出地面300mm以上，管道传入构筑物的空洞应采取防止雨水进入的措施。

（8）地下敷设管道固定支座的承力结构宜采用耐腐蚀材料，或采取可靠的防腐措施。

（9）冷网或热网管道地沟敷设时，不允许同雨水井和排水井交叉。当与给水、排水、雨水管道交叉时，应设在这些管道的上方。

（四）地下管道敷设安全措施

（1）穿越冷网或热网管沟的工艺管道或电缆桥架应加套管或厚度不小于100mm的混凝土沟与管道地沟隔开，同时不得妨碍冷网或热网管道的检修及地沟排水。

供暖管道地沟内不得穿过燃气管道。供暖管道地沟与燃气管道交叉，当垂直净距小于300mm时，燃气管道应加套管。

套管或混凝土沟应伸出管道地沟以外，每侧不应小于1m，与管道地沟交叉处应采取可靠措施，密封严密，防止可燃、易爆气体或腐蚀性气体、液体泄漏进管沟。易挥发、易燃烧、易爆炸、有化学腐蚀性或有毒物质主要有氢气、氧气、乙炔气、酸、氨、氯、燃气、油等。

（2）管道地沟敷设的冷网或热网管道进入建构筑物或穿过构筑物时，管道穿墙处应封堵严密。

（3）厂区内的冷网或热网通行管道地沟应有照明设施，其电压不应高于36V。

在通行管道地沟和地下、半地下检查室内的照明灯具应采用防潮的密闭型灯具。

在管道地沟和检查室等湿度较高的场所，灯具安装高度低于2.2m时，应采用24V以下的安全电压。

（4）厂区内的冷网或热网通行管道地沟应有良好的通风，沟内空气温度不应超过40℃。一般可利用自然通风，当自然通风不能满足要求时，应采用机械通风。自然通风塔应根据总体安排，可直接设在地沟上或沿建筑物设置。排风塔和进风塔必须沿地沟长度方向交替设置，其横断面积应根据换气次数每小时2～3次和风速不大于2m/s计算确定。

（五）敷设最小距离

管道地沟敷设供热管道与建（构）筑物及其他各种地下管线之间的最小水平和交叉净距见表10-8。

表10-8　管道地沟敷设供热管道与建（构）筑物及其他各种地下管线之间的最小水平和交叉净距

序号	名称		最小水平净距（m）	最小交叉净距（m）
1	建筑物基础边缘		1.0	—
2	铁路钢轨外侧		3.0	轨底：1.2
3	道路路面边缘		1.0	—
4	铁路、道路的边沟		1.0	—
5	照明、通信杆柱中心		1.0	—
6	架空管架基础边缘		1.5	—
7	栈桥桥墩边缘		2.0	—
8	高压输电铁塔基础边缘	35～60kV	3.0	—
		110～220kV	3.0	—
9	乔木或灌木丛中心		1.5	—
10	给水管道		1.5	0.15
11	排水管道		1.5	0.15
12	燃气管道	压力不大于0.15MPa	1.0	钢管：0.15 聚乙烯管在上：0.2 聚乙烯管在下：0.3
		压力为0.15～0.3MPa	1.5	
		压力为0.3～0.8MPa	2.0	
		压力大于0.8MPa	4.0	
13	天然气管（压力不大于0.4MPa）		1.2	0.15
14	压缩空气管或二氧化碳管		1.0	0.15
15	通信电缆		1.0	0.15
16	35kV以下电缆		2.0	0.5
17	110kV电缆		2.0	1.0
18	道路路面		—	0.7
19	地铁		5.0	0.8

六、管道直埋敷设

（一）管道直埋敷设的条件及安装步骤

1. 管道直埋敷设的条件

厂区内供冷或供暖管道当符合下列条件时，可采用直埋敷设。

（1）空调冷水或热水管道。

（2）公称直径小于或等于 500mm，介质温度低于或等于 150℃的供暖热水管道。

（3）工作压力小于或等于 1.6MPa，介质温度低于或等于 350℃的供暖蒸汽管道。

2. 管道直埋敷设的步骤

首先将管槽开挖到设计深度，验槽合格后，将槽底原土夯实三遍，填砂到设计厚度，吊装下管，纵向组对，多根管最好敷于同一平面上，管道调直或调弯，焊接，按设计规范和施工规范要求进行焊缝探伤、水压试验，包括分段试压和整体试压，回填细砂，回填原土，分层夯实。

直埋管道断面如图 10-7 所示。

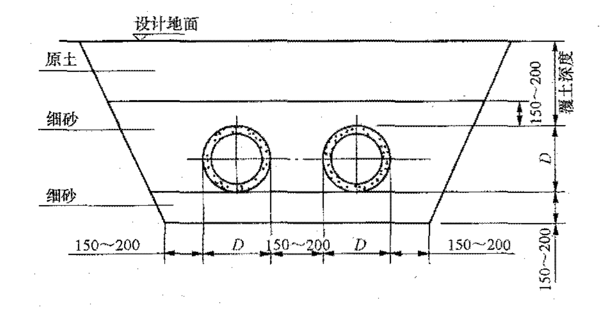


图 10-7　直埋管道断面图

（二）冷水或热水直埋管道

（1）冷水或热水管道采用直埋敷设时，应采用钢制内管、保温层及保护外壳等结合为一体的整体预制保温管道，其钢制内管材质应有明显的屈服极限，保护外壳应有可靠的防水性和抗压性。当地下水位高于管底时，应采用钢制外护管。

（2）为了保证直埋管敷设质量，应采用工厂化生产的直埋管道，现场只进行接口施工，避免采用现场发泡制作。三通、弯头、弯管、大小头等可采用加强型工厂化生产的管件。

（3）冷水管道直埋敷设时，可采用无补偿冷安装方式。热水管道通过应力计算确定采用无补偿冷安装、预应力安装或有补偿冷安装等敷设方式。一般，介质温度不大于 130℃、公称直径小于或等于 500mm、管顶覆土深度不小于 1m 的管网，可以采用无补偿冷安装。

（4）直埋敷设冷水或热水管道最小覆土深度应符合表 10-9 的规定，同时应进行管道稳定性验算。

表 10-9　直埋敷设冷水或热水管道最小覆土深度

公称直径	DN50～DN125	DN150～DN300	DN350～DN500
车行道下（m）	0.8	1.0	1.2
非车行道下（m）	0.7	0.7	0.9

当稳定性不满足要求时，可以采取降低管道轴向力或增加管道埋深的措施。

（5）热水或蒸汽管道直埋敷设时，供热管道与建（构）筑物、交通管线及其他各种地下管线之间的最小水平和交叉净距应符合表 10-10 的规定。

表 10-10　直埋敷设供热管道与建（构）筑物、交通管线及其他各种地下管线之间的最小水平和交叉净距

序号	名　称		最小水平净距（m）	最小交叉净距（m）
1	建筑物基础边缘	≤DN250	2.5	—
		≥DN300	3.0	—
2	铁路钢轨		钢轨外侧：3.0	轨底：1.2
3	电气钢轨		钢轨外侧：12.0	轨底：1.0
4	铁路、公路路基边坡底脚或边沟的边缘		1.0	—
5	通信、照明或 10kV 以下电力线路的电杆		1.0	—
6	高压输电线铁塔基础边缘（35～220kV）		3.0	—
7	桥墩（高架桥、栈桥）		2.0	—
8	架空管架基础边缘		1.5	—
9	高压输电铁塔基础边缘	35～60kV	2.0	—
		110～220kV	3.0	—
10	乔木或灌木丛中心		1.5（直埋蒸汽管道：2.0）	—
11	给水、排水管道		1.5	0.15

续表

序号	名　称		最小水平净距（m）	最小交叉净距（m）
12	排水盲沟		1.5	0.5
13	直埋蒸汽管道与直埋热水（凝结水）管道		1.5	0.15
14	燃气管道	压力不大于 0.4MPa	1.0	钢管：0.15； 聚乙烯燃气管在上：0.5； 聚乙烯燃气管在下：1.0
		压力不大于 0.8MPa	1.5	
		压力大于 0.8MPa	2.0	
15	天然气管（压力不大于 0.4MPa）		1.2	0.15
16	压缩空气管或二氧化碳管		1.0	0.15
17	乙炔、氧气管道		1.5	0.25
18	通信电缆		0.8	0.15
19	35kV 以下电缆		2.0	0.5
20	110kV 以下电缆		2.0	1.0
21	道路路面		—	0.7

（6）冷水或热水直埋管道的坡度不宜小于 0.002，高处宜设放气阀，低处宜设放水阀。

（7）冷水或热水直埋管道尽可能直线敷设，管道自然弯曲限制在 0°～5°范围内。管道弯曲限制在 60°～90°之间，避免 10°～60°之间弯头。

（8）冷水或热水直埋管道同河流、铁路、公路交叉时，应垂直交叉。

（9）直埋管道敷设时，不允许同雨水井和排水井交叉。

（10）直埋敷设热水管网可以利用 L 形转角弯管进行自然补偿，弯管宜选用工厂预制的曲率半径大于或等于 3 倍管道外径的机制光滑无缝弯管，弯管的壁厚应比连接钢管的壁厚厚 1～2mm，材质与连接的钢管应相同。

（11）当直埋敷设的热水管网从主干线直接引出分支管线超过 6～8m 时，分支管线上应设固定墩或 L 形弯管补偿器。固定墩距分支点的距离不宜大于 9m，补偿器距分支点的距离不宜大于 20m。分支点有干线轴向位移时，干管轴向位移量不宜大于 50mm。分支点至固定墩或弯管补偿器的距离不应小于支管的弯头变形段长度，分支点至分支线轴向补偿器的距离不应小于 12m。

（12）直埋敷设的冷水或热水管道的绝热结构应有足够的强度，并与钢管粘接为一体。保护壳应连续、完整和严密，绝热结构应饱满、无空洞，其耐热性及强度指标应符合表 10-11 的规定。

表 10-11　直埋冷水或热水管道绝热结构耐热性及强度指标

项　目	指　标
耐热性	不低于设计工作温度
抗压强度	≥200kPa
剪切强度	≥120kPa

（13）冷网或热网直埋管道的高点应设置放气检查井，低点应设置泄水检查井。当在管道上部无法设置检查井时，也可将排气管或泄水管接引至周围合适的位置设置检查井，但引出的排气管或泄水管应满足管道冷、热位移时的应力要求。排气阀和泄水阀宜选用截止阀。

（14）直埋管道阀门处应设置阀门井。直埋冷水或热水管道上的阀门应能承受管道的轴向荷载，采用钢制阀门，与管道连接采用焊接。当公称管径大于或等于 250mm 时，宜选用双偏心金属硬密封焊接蝶阀。当公称管径小于 250mm 时，宜选用直埋型手动焊接保温球阀。当采用全焊接整体式钢制球阀时，可以不设置阀门井。

（15）直埋敷设管道出土段（小室、地沟、构筑物等）应设穿墙套管和固定支墩。直埋管道保留的保温长度不小于 500mm。

（16）管道保温层内设置报警线时，报警线之间、报警线与钢管之间的绝缘电阻值应符合产品标准规定。传统的报警线会出现误报，也可采用光纤报警。

（三）蒸汽直埋管道

（1）蒸汽直埋管道应有良好的保温，外保护壳应防水和防腐蚀，其设计寿命不应低于 25 年。

（2）蒸汽直埋管道的保温结构可采用内滑动外固定、内滑动内固定和外滑动内固定三种形式。当采用钢质外护管时，宜采用内固定支架。当采用轴向补偿器时，两个固定支架间的直埋蒸汽管道不宜有折角。

（3）直埋蒸汽管道应敷设在各类地下管线的最上部。

（4）钢质外护蒸汽直埋管道最小覆土深度应符合表 10-12 的规定，同时应进行管道稳定性验算。

表 10-12　蒸汽直埋敷设管道最小覆土深度

公称直径	≤DN400	DN450～DN500
车行道下（m）	1.0	1.2
非车行道下（m）	0.8	1.0

（5）蒸汽管道直埋敷设时，蒸汽管道内钢管采用有补偿冷敷设方式，热伸长量计算与管沟敷设相同。钢制外护管采用无补偿的敷设方式。

（6）厂区内蒸汽或凝结水直埋管道的转弯处宜利用管道的自然补偿。直管段固定支架之间宜采用轴向型直埋波纹管补偿器补偿管道的热膨胀量。

（7）蒸汽直埋管道的阀门应选用钢制阀门，焊接连接，且无盘根的截止阀或闸阀。当选用蝶阀时，应选用焊接偏心双向硬密封蝶阀。所选阀门工称压力应比管道设计压力高一个等级。

（8）直埋蒸汽管道固定墩的隔热层应满足下列规定：

1）应选择高强度材料。150℃下抗拉强度不小于180MPa，抗压强度不小于 80MPa；350℃下抗拉强度不小于 120MPa，抗压强度不小于 80MPa。

2）350℃下导热系数小于 0.35W/（m・℃）；150℃下导热系数小于 0.31W/（m・℃）。

3）线膨胀系数为（2.637～6.169）$\times10^{-6}$/℃。

4）工作温度不超过 350℃。

5）使用寿命不少于 25 年。

（9）不抽真空的直埋敷设蒸汽管道必须设置排潮管。排潮管直径按表 10-13 选取。蒸汽管道在两固定墩间应设置排潮管，排潮管应设置在固定墩两侧外护管位移较小处。排潮管可引至附近的排潮井内，排气口朝下，如引出地面出口应向下，出口距地面高度不宜小于 0.25m。排潮管应采取防腐和保温措施。

表 10-13　　直埋蒸汽管道排潮管直径　　　　（mm）

工作钢管公称直径	排潮管公称直径	排潮管外护钢套管外径×壁厚
≤DN200	DN32	159×5
DN250～DN400	DN40	159×5
>DN400	DN50	159×5

蒸汽管道的排潮管如图 10-8 所示。

（10）直埋疏排水管应按蒸汽直埋管道的技术要求敷设。

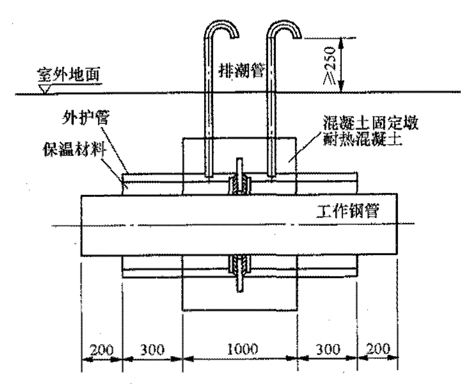


图 10-8　蒸汽管道的排潮管

七、供暖管道的热位移及热补偿

（一）管道的热位移计算

管道的热位移是管道在运行过程中因热胀而产生的热伸长量。

计算热水直埋管道的热伸长量时，应计入管道塑性变形和土壤摩擦力所产生的影响因素。以下描述适用于架空和地沟敷设等无土壤摩擦力的管道。

1. 直管段热位移计算

若将管道直管段的一端固定，受热后则另一端产生位移，该管段的热伸长量计算式为

$$\Delta L=\alpha_t L\Delta t \tag{10-1}$$

式中　ΔL——管段的伸长量，mm；

α_t——管材在设计温度 t 时的线膨胀系数，设计温度不超过 110℃时取 0.012mm/（m・℃）；

L——管道的长度，m；

Δt——热媒温度与管道安装温度（或工作循环最低温度）之差，℃。

管道工作循环最低温度，对于全年运行的管道，地下敷设时取 30℃，地上敷设时取 15℃；对于只在采暖期运行的管道，地下敷设时取 10℃，地上敷设时取 5℃。

采用套筒补偿器时，应取管道安装温度和工作循环最低温度中的较低值。采用方形补偿器、波纹管补偿器时，应取管道工作循环最低温度。

采用套筒补偿器时，应计算各种安装温度下的补偿器安装长度，并保证管道在可能出现的最高、最低温度下，补偿器留有不小于 20mm 的补偿余量。

水和蒸汽管道的热伸长量ΔL 见表 10-14。

表 10-14　　水和蒸汽管道的热伸长量 ΔL　　（mm）

饱和蒸汽压力 p（表压）（MPa）								0.05	0.1	0.18	0.27	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5
管段长 L（m）	t_2 热介质温度（℃）																							
	50	60	70	80	90	95	100	110	120	130	140	143	151	158	164	170	175	179	183	191	197	203	214	225
5	3	4	4	5	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12	13	13	14

续表

饱和蒸汽压力 p（表压）（MPa）								0.05	0.1	0.18	0.27	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5
管段长 L（m）	t_2 热介质温度（℃）																							
	50	60	70	80	90	95	100	110	120	130	140	143	151	158	164	170	175	179	183	191	197	203	214	225
10	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	18	19	20	21	21	22	22	23	24	24	25	26	28
15	10	11	13	15	17	18	19	21	23	24	26	27	28	30	31	32	33	33	34	35	37	38	39	41
20	13	15	18	20	23	24	25	28	30	33	35	36	38	40	41	43	44	45	46	47	49	50	52	55
25	17	19	22	25	28	30	31	34	38	41	44	45	47	50	51	53	55	56	57	59	61	63	66	68
30	20	23	26	30	34	36	38	41	45	49	53	54	57	60	62	64	66	67	69	71	73	75	79	82
35	23	26	31	35	40	42	44	48	53	57	61	63	66	70	72	74	77	79	80	83	85	88	92	97
40	27	30	35	40	45	48	50	55	60	65	70	72	76	80	82	85	88	90	92	94	97	100	101	110
45	30	34	40	45	51	54	56	62	68	73	79	81	85	90	92	96	99	101	103	106	109	112	118	124
50	33	38	44	50	57	60	63	69	75	81	88	89	95	99	103	106	110	112	114	118	121	125	131	138
55	36	41	48	55	62	66	69	76	83	89	96	99	104	109	113	117	120	123	126	129	134	137	145	152
60	40	45	53	60	68	71	75	83	90	98	105	107	114	119	123	128	131	134	137	141	146	150	158	165
65	43	49	57	65	74	77	81	89	98	106	114	116	123	129	133	138	142	145	148	153	158	162	171	179
70	46	53	62	70	79	83	88	96	105	113	123	125	132	139	144	149	154	157	160	165	170	175	184	193
75	50	56	66	75	85	89	94	103	113	122	131	134	142	148	154	159	164	168	172	176	182	187	197	203
80	53	60	70	80	90	95	100	110	120	130	140	143	152	158	164	170	175	180	183	188	194	200	210	220
85	56	64	75	85	96	101	107	117	128	138	149	152	161	168	174	180	186	190	194	200	206	212	224	234
90	59	68	79	90	102	107	113	124	135	146	157	161	171	178	185	191	197	200	205	212	218	225	236	248
95	63	71	83	95	107	113	119	130	143	154	166	170	180	188	195	202	208	212	217	223	230	237	250	262
100	66	75	88	100	113	119	125	137	150	163	175	179	190	198	205	212	219	224	229	235	243	250	263	276
105	69	79	92	105	119	123	131	144	158	170	184	188	199	208	215	223	230	235	240	247	255	262	276	290
110	73	83	96	110	124	131	138	151	165	180	194	197	206	218	226	234	240	246	252	259	267	274	290	304

注　本表按式 $\Delta L=0.012\ (t_2-t_1)\ L$ 计算，mm；安装温度 $t_1=-5$℃。

2. L 形管段热位移计算

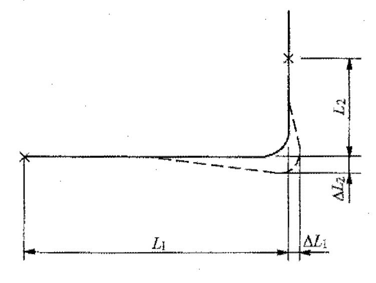


图 10-9　L 形管段热位移图

L 形管段受热后热位移如图 10-9 中虚线所示。管段 L_1 的热伸长量 ΔL_1 按式（10-2）计算，管段 L_2 的热伸长量计算式为

$$\Delta L_1=\alpha_t L_1 \Delta t \qquad (10\text{-}2)$$

$$\Delta L_2=\alpha_t L_2 \Delta t \qquad (10\text{-}3)$$

式中　ΔL_1、ΔL_2——管段 L_1、L_2 的热伸长量，mm；

L_1、L_2——L 形管段 L_1 和 L_2 的臂长，m。

3. Z 形管段热位移计算

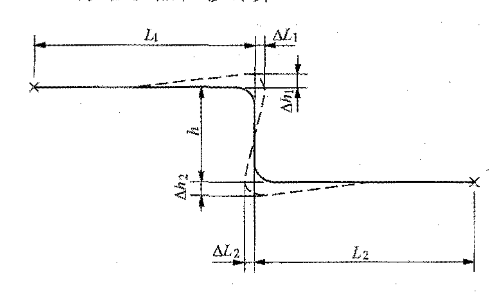


图 10-10　Z 形管段热位移图

Z 形管段受热后热位移如图 10-10 中虚线所示。管段 h 的两端热位移量计算式为

$$\Delta h_1=\frac{\Delta h}{L_1^3+L_2^3}L_1^3 \qquad (10\text{-}4)$$

$$\Delta h_2=\frac{\Delta h}{L_1^3+L_2^3}L_2^3=\Delta h-\Delta h_1 \qquad (10\text{-}5)$$

$$\Delta h=\alpha_t h \Delta t \qquad (10\text{-}6)$$

式中　Δh ——管段 h 的热伸长，mm；
Δh_1、Δh_2 ——管段 h 的两端热位移量，mm；
L_1、L_2、h ——各管段长度，m。

（二）热补偿方式及常用补偿器

管道在设计过程中，管道的温度变形应充分利用管道本身的自然弯曲来补偿管道热伸长量，管系柔性越大，补偿效果越好。

当无条件利用管道本身自然弯曲来补偿管道的热伸长时，应采用合适的伸缩补偿器，以降低管道在运行过程中所产生的作用力，减少管道应力和作用于阀门及支架结构上的作用力，保证管道的稳定和安全运行。

直埋敷设热水管道选择补偿器时，补偿能力不应小于计算热伸长量的 1.2 倍。以下描述适用于架空和地沟敷设等土壤摩擦力的管道。

1. 管道自然补偿

常用自然补偿方式有 L 形和 Z 形两种，转角不宜小于 90°或大于 150°，并应验算弯管臂长是否满足要求。当弯管转角不大于 150°时，管道臂长不宜超过 20～25m。

（1）L 形管道。L 形管道的短臂长度估算式为

$$L_2=1.1\sqrt{\frac{\Delta L_1 d_0}{300}} \tag{10-7}$$

式中　L_2 ——L 形管道短臂长度，m；
ΔL_1 ——长臂 L_1 的热伸长量，mm；
d_0 ——管道外径，mm。

（2）Z 形管道。Z 形管道的短臂长度估算式为

$$h=\left[\frac{6\Delta t E d_0}{1\times10^2[\sigma](1+1.2L_2/L_1)}\right]^{1/2} \tag{10-8}$$

式中　h——Z 形管道的短臂长度，m；
E ——材料弹性模量，MPa；
$[\sigma]$ ——弯曲允许应力，可取 80MPa。

（3）空间自然补偿管段的近似验算。检查空间自然补偿管补偿能力是否满足要求，其估算式为

$$\frac{\mathrm{DN}\cdot\Delta L}{(L-x)^2}\leqslant20.8 \tag{10-9}$$

式中　DN——管道公称直径，mm；
ΔL——管道三个方向热伸长量的向量和，mm；
L——管道展开总长度，m；
x ——管道两端固定点之间的直线距离，m。

2. 管道补偿器

（1）方形补偿器。最常用的一种补偿器，一般用无缝钢管煨制，也可用热压弯头拼装制成。它具有加工方便、轴向推力小、不需要经常维修等优点，但具有占地面积大、不易布置等缺点。

方形补偿器宜安装在相邻两固定支架间的中心或接近中心位置，此时补偿效果最好。垂直或水平布置的方形补偿器两侧外伸臂的直管道适当位置应设置导向支架，防止产生纵向弯曲。

方形补偿器的弹性力估算式为

$$F=\frac{[\sigma]W}{H} \tag{10-10}$$

式中　F——补偿器的弹性力，N；
$[\sigma]$——弯曲允许应力，MPa；
W——管道断面抗弯矩，cm^3；
H ——方形补偿器外伸臂长度，m。

安装方形补偿器时一般须进行预拉伸，预拉值一般为 50%，安装方式如图 10-11 所示。

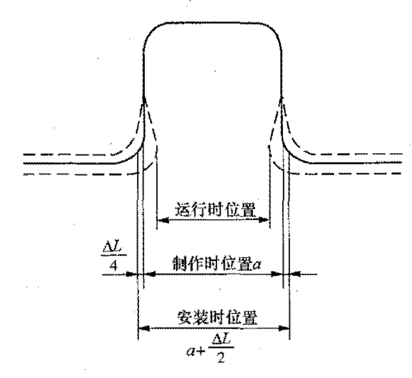


图 10-11　方形补偿器安装示意

方形补偿器形式如图 10-12 所示，图中，$c=a-2R$，$h=b-2R$。方形补偿器的外形尺寸及其补偿能力见表 10-15。

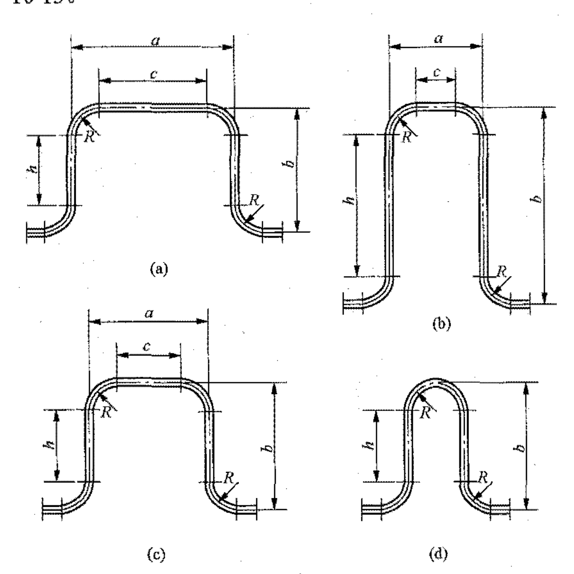


图 10-12　方形补偿器形式
（a）形状Ⅰ；（b）形状Ⅱ；（c）形状Ⅲ；（d）形状Ⅳ

表 10-15　　方形补偿器的外形尺寸及其补偿能力　　（mm）

公称直径		DN25		DN32		DN40		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200		DN250	
半径		R=134		R=169		R=192		R=240		R=304		R=356		R=432		R=532		R=636		R=876		R=1090	
ΔL	型号	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
25	Ⅰ	780	520	850	580	860	620	820	650	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ⅱ	600	600	650	650	680	680	700	700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ	470	660	530	720	570	740	620	750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ	—	800	—	820	—	830	—	840	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	Ⅰ	1200	720	1300	800	1280	830	1280	880	1250	930	1290	1000	1400	1130	1550	1300	1550	1400	—	—	—	—
	Ⅱ	840	840	920	920	970	970	980	980	1000	1000	1050	1050	1200	1200	1300	1300	1400	1400	—	—	—	—
	Ⅲ	650	980	700	1000	720	1050	780	1080	860	1100	930	1150	1060	1250	1200	1300	1350	1400	—	—	—	—
	Ⅳ	—	1250	—	1250	—	1280	—	1300	—	1120	—	1200	—	1300	—	1300	—	1400	—	—	—	—
75	Ⅰ	1500	880	1600	950	1660	1020	1720	1100	1700	1150	1730	1220	1800	1350	2050	1550	2080	1680	2450	2100	2250	2200
	Ⅱ	1050	1050	1150	1150	1200	1200	1300	1300	1300	1300	1350	1350	1450	1450	1600	1600	1750	1750	2100	2100	2200	2200
	Ⅲ	750	1250	830	1320	890	1380	970	1450	1030	1450	1110	1500	1260	1650	1410	1750	1550	1800	1950	2100	2200	2200
	Ⅳ	—	1550	—	1650	—	1700	—	1750	—	1500	—	1600	—	1700	—	1800	—	1900	—	2100	—	2200
100	Ⅰ	1750	1000	1900	1100	1920	1150	2020	1250	2000	1300	2130	1420	2350	1600	2450	1750	2650	1950	2850	2300	3020	2600
	Ⅱ	1200	1200	1320	1320	1400	1400	1500	1500	1500	1500	1600	1600	1700	1700	1900	1900	2050	2050	2380	2380	2600	2600
	Ⅲ	860	1400	950	1550	1010	1630	1070	1650	1180	1700	1280	1850	1460	2050	1600	2100	1750	2200	2080	2400	2390	2600
	Ⅳ	—	—	—	1950	—	2000	—	2050	—	1850	—	1950	—	2100	—	2150	—	2300	—	2550	—	2900
150	Ⅰ	2150	1200	2320	1320	2420	1400	2520	1500	2600	1600	2790	1750	2950	1900	3250	2150	3550	2400	3750	2750	—	—
	Ⅱ	1500	1500	1640	1640	1730	1730	1800	1800	1850	1850	2000	2000	2150	2150	2450	2450	2600	2600	2950	2950	3100	3100
	Ⅲ	—	—	1150	1920	1210	2030	1290	2100	1460	2300	1580	2450	1760	2650	1950	2800	2080	2880	2480	3200	2840	3500
	Ⅳ	—	—	—	—	—	—	—	2650	—	2400	—	2550	—	2750	—	2850	—	3000	—	3250	—	3600
200	Ⅰ	—	—	2730	1530	2860	1620	3020	1750	3100	1850	3390	2050	3550	2200	3950	2500	4350	2800	4550	3150	—	—
	Ⅱ	—	—	1900	1900	2000	2000	2100	2100	2200	2200	2350	2350	2550	2550	2800	2800	3050	3050	3500	3500	3700	3700
	Ⅲ	—	—	—	—	1350	2300	1480	2400	1680	2750	1860	3000	2060	3250	2200	3300	2400	3500	2850	3900	3090	4000
	Ⅳ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2950	—	3100	—	3300	—	3450	—	3600	—	4000	—	4300
250	Ⅰ	—	—	—	—	—	—	—	—	3500	2050	3900	2300	4050	2450	4550	2800	4950	3100	5250	3500	—	—
	Ⅱ	—	—	—	—	—	—	—	—	2450	2450	2700	2700	2850	2850	3200	3200	3500	3500	4000	4000	4400	4400
	Ⅲ	—	—	—	—	—	—	—	—	1900	3150	2110	3500	2350	3800	2450	3900	2750	4200	3180	4600	3290	4400
	Ⅳ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3400	—	3600	—	3850	—	4050	—	4250	—	4700	—	4900

（2）套筒式补偿器。具有补偿能力大、结构简单、占地面积小、流体阻力小、安装方便等优点；但它具有易漏水、漏汽，需要经常检修，更换填料等缺点，为了解决这些缺点，研制了弹性、注入式套筒补偿器。现在因适用的工作压力不同，有0.6、1.0、1.6、2.5MPa型，温度不超过300℃，适用热媒为蒸汽、热水，填料宜适用膨胀石墨、耐热聚氟乙烯等，而不能使用棉纱或麻垫。

采用套筒补偿器时，管网工作压力宜低于1.6MPa。套筒补偿器应布置在靠近固定支架处。

弹性套筒补偿器的特点如下：

1）在弹簧的作用力下，密封填料始终处在被压紧的状态，从而使管中的介质无法泄漏。

2）由于填料长度比原套筒式补偿器短，又用不锈钢套管，加上填料经过特殊处理，使套管光滑、经久不变，所以轴向力小。

3）安装方便。弹性套筒补偿器适用范围如下：

a．管径：DN25～DN1500；

b．压力：公称压力小于或等于4.0MPa；

c．温度：$t \leqslant 450$℃。

（3）波纹管补偿器。具有配管简单、安装容易、维修管理方便等优点。波纹管补偿器因工作压力不同，有0.6、1.0、1.6、2.5MPa型，工作温度可在450℃以下，管径为DN50～DN2400。

1）波纹管补偿器的使用范围。

a．变形与变位量大而空间位置受到限制的管道；

b．变形与变位量大而工作压力低的大直径管道；

c．需要限制接管荷载的敏感设备入口管道；

d．要求吸收或隔离高频机械振动的管道；

e．考虑吸收地震或地基沉陷的管道。

2）采用轴向波纹管补偿器时，补偿器宜布置在靠近固定支架处，并设置导向支架。

波纹管补偿器布置时应注意支架的设置，这是补偿器正常运行的决定性因素。波纹管补偿器管系支架布置如图10-13所示。

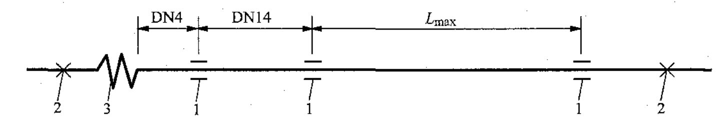


图10-13　波纹管补偿器管系支架布置图

1—导向支架；2—固定支架；3—波纹管补偿器

L_{max}计算式为

$$L_{max}=0.157\sqrt{\frac{EI}{pA+K\delta}} \tag{10-11}$$

式中　L_{max}——最大导向间距，m；

E——管子弹性模量，MPa；

I——管子断面惯性矩，cm^4；

p——工作压力，MPa；

A——补偿器刚度，N/mm；

K——安全系数，一般取1.2～1.3；

δ——最大补偿量，mm。

安装波纹管补偿器时，应进行预变形，预变形系数可取0.3～0.5。

3）当直埋管道利用补偿器进行热补偿时，补偿器的补偿能力应满足下列要求：

a. 补偿器宜选用直埋波纹补偿器，补偿器应与直埋管道保持同轴，距补偿器12m范围内不应有折角和弯头。

b. 当管道一端为固定点或锚固点时，补偿器补偿能力不应小于滑动段热伸长量的1.1倍。

c. 当管道一端为驻点时，补偿器补偿能力不应小于滑动段热伸长量的1.2倍。

（4）球形补偿器。具有补偿能力大、占地空间小、流体阻力小、安装方便、投资省等优点。这种补偿器特别适用于三维位移的蒸汽和热水管道，也称为万向补偿器。

球形补偿器选用时应注意：

1）补偿器必须设置两个一组使用。

2）补偿器可以在管道直线段水平、垂直安装，为减少摩擦力，滑动支座宜采用滚动支座。

3）安装补偿器要正确地分段和合理地确定固定支架位置，以减少固定支架的推力。

4）由于补偿管段长（直线段可达400～500m），所以应考虑设导向支架。

5）安装球形补偿器时，应进行预变形，预变形系数可取0.3～0.5。

八、供热管道支吊架

（一）管道支吊架设置

1．支吊架的设计要求

（1）管道支吊架的设置和选型应根据管道系统的总布置综合分析确定。支吊系统应合理承受管道的动荷载、静荷载和偶然荷载；合理约束管道位移；保证在各种工况下，管道应力均在允许范围内；满足管道所连设备对接口推力（力矩）的限制要求；增加管道系统的稳定性，防止管道振动。

（2）确定支吊架间距时，应考虑管道荷载的合理分

布，并满足管道强度、刚度、防止振动和疏放水的要求。

(3) 支吊架必须支撑在可靠的构筑物上，应便于施工，且不影响邻近设备检修及其他管道的安装和扩建。

(4) 支吊架零部件应有足够的强度和刚度，结构简单，并应采用典型的结构和元件。

(5) 管道吊架的螺纹拉杆应有足够的调整长度。当吊架上、下端不能调整拉杆长度时，可采用花篮螺栓在中间调整。

(6) 在任何情况下管道吊架拉杆可活动部分与垂线的夹角，刚性吊架不得大于3°，弹性吊架不得大于4°，当上述要求不能满足时，应装设滚动装置。

(7) 根部相对管不在水平面内的计算偏装值为冷位移（矢量）+1/2 热位移（矢量）。

(8) 唯一或方向不同的吊点，不得合用同一套吊架中间连接件。

2. 支吊架分类

(1) 固定支架。用于管道上不允许有任何方向的线位移和角位移的支撑点。

(2) 滑动支架或刚性吊架。用于管道上无垂直位移或垂直位移很小的部位，水平摩擦力无严格限制。

(3) 滚动支架。用于管道上不允许有垂直位移且需减小管道水平摩擦力的支撑点。

(4) 弹簧支吊架。用于有垂直位移的支吊点。当有水平位移时，弹簧支架宜加装滚柱、滚珠盘或聚四氟乙烯板。

(5) 恒力支吊架。用于管道垂直位移较大或需要限制转移荷载的支吊点。

(6) 导向支架。用于需引导管道某方向位移而限制其他方向位移的地方，防止管道失稳。

(7) 限位支架。用于管道上需要限制某个或几个方向位移的地方。

(8) 减振支架。用于管道上需要防止振动的地方，允许其对管道热胀冷缩有一定的影响。

(9) 阻尼支架。用于管道上需承受地震荷载、冲击荷载或控制管道高速振动位移的地方。它不影响管道的热胀冷缩。

3. 支吊架布置

(1) 设备接口附近的支吊架间距和形式，除符合管道的强度、刚度和防振要求外，还应使设备接口承受的管道最大荷重、推力和力矩在允许范围内，且不应限制设备接口位移。

(2) 固定支架形式的选择应符合下列要求：

1) 管道和支架应有足够的强度和适当的刚度，并能满足管道热补偿的位移要求。

2) 架空和地沟敷设时应设置固定支架，以承受管道的垂直和水平荷载。固定支架应安装在牢固的结构物上。

3) 管道伸缩时，轴向和横向位移的管段均应设活动支架或刚性吊架，以承受管道的质量和确保管道运行稳定。弯头处有管道伸缩，不宜布置支吊架，设置在其临近位置的支吊架，能承受管道的质量，确保管道运行稳定。

(3) 在靠近集中荷载（如阀门、三通等）处宜布置支吊架。当减少热位移时，宜设置固定支架。

(4) 当垂直管段仅有一个支吊架时，一般装在垂直管段的上部约 1/3 处。此时垂直管段上部的水平管段第一个支吊架，可装在允许间距的 3/4 范围内；垂直管段下部的水平管段第一个支吊架，可装在允许间距的 1/2 范围内。

当垂直管段的支吊架只能设在该管段的下方时，垂直管段上部的水平管段第一个支吊架可装在允许间距的 1/2 范围内；垂直管段下部的水平管段第一个支吊架可装在允许间距的 3/4 范围内。

(5) 水平弯管两侧的支吊架间距应将其中一只设置在靠近弯管的直管段上。

(6) 安全阀排汽管道的自重和排汽反力应由支吊架承受；对于开式排放系统，当阀管上不设支吊架时，应对安全阀进、出口接管和法兰进行强度核算。

(7) 弯管补偿器宜布置在两个固定支架之间的中部位置，在补偿器两侧不小于 45 倍公称直径处宜各设置一个导向支架。

(8) 当设备接口承受过大的管道推力或力矩时，如装设限位装置，其位置及限位方向应通过计算确定。

(二) 支吊架间距

管道的允许跨距，按强度和刚度两方面条件来确定，选取其中较小值作为管道活动支架的间距。

1. 按强度条件

支吊架的最大允许间距计算式为

$$L_{max}=2.24\sqrt{\frac{W\phi[\sigma]^t}{q}} \tag{10-12}$$

式中 L_{max}——支吊架的最大允许间距，m；

W——管子断面抗弯矩，cm^3；

ϕ——管子横向焊缝系数，按表 10-16 选取；

$[\sigma]^t$——钢材在设计温度下的许用应力，MPa；

q——管道单位重力（包括管子自重、保温及保护层重、水重和附加重），N/m。

表 10-16　管子横向焊缝系数 ϕ 值

焊接方式	ϕ 值	焊接方式	ϕ 值
手工电弧焊	0.7	手工双面加强焊	0.95
有垫环对焊	0.9	自动双面焊	1.0
无垫环对焊	0.7	自动单面焊	0.8

常用钢管的物理特性数据见表 10-17，钢管常用辅助计算数据见表 10-18。

表 10-17　　常用钢管的物理特性数据表

钢材物理特性		许用应力$[\sigma]^t$ [MPa（$\times10^6$N/m²）]			弹性模量 E [10^4MPa（$\times10^{10}$N/m²）]			线膨胀系数 α [$\times10^{-6}$m/（m·℃）]		
钢号		Q235B	10	20/20g	Q235B	10	20/20g	Q235B	10	20/20g
计算温度	20	123	111	137	20.6	19.8	19.8			
	100	123	111	134	20.0	19.1	18.3	12.20	11.90	11.16
	150	123	111	134	19.6	18.6	17.9	12.60	12.75	11.64
	200	123	111	134	19.2	18.1	17.5	13.00	12.60	12.12
	250	113	104	125	18.8	17.6	17.1	13.23	12.70	12.45
	300	101	91	113	18.4	17.1	16.6	13.45	12.80	12.78
	350	85	80	100		16.4	16.2		12.90	13.31

表 10-18　　钢管常用辅助计算数据表

公称直径（mm）	外径×厚度（mm）	管子重量（N/m）	凝结水重量（N/m）	充满水重量（N/m）	不保温管计算重量		保温管计算重量		惯性矩 I（cm⁴）	抗弯矩 W（cm³）
					汽体管（N/m）	液体管（N/m）	200℃汽体管（N/m）	200℃液体管（N/m）		
DN25	32×2.5	17.6	1.1	5.7	22.4	26.8	22.4+1.2g	26.8+1.2g	2.54	1.58
DN32	38×2.5	21.9	1.7	8.6	28.3	34.9	28.3+1.2g	34.9+1.2g	4.41	2.32
DN40	45×2.5	26.2	2.5	12.6	34.4	44.0	34.4+1.2g	44.0+1.2g	7.55	3.36
DN50	57×3.5	46.2	3.9	19.6	60.1	75.0	60.1+1.2g	75.0+1.2g	21.1	7.4
DN65	73×3.5	60.0	6.8	34.2	80.2	106.2	80.2+1.2g	106.2+1.2g	46.3	12.4
DN80	89×3.5	73.8	10.5	52.8	101.7	141.4	101.7+1.2g	141.4+1.2g	86.1	19.3
DN100	108×4	102.6	11.8	78.5	137.3	201.6	137.3+1.2g	201.6+1.2g	177	32.8
DN125	133×4	127.3	18.4	122.7	174.8	275.5	174.8+1.2g	275.5+1.2g	338	50.8
DN150	159×4.5	171.5	26.5	176.7	237.6	382.5	237.6+1.2g	382.5+1.2g	652	82
DN200	219×6	315.2	50.5	336.5	438.8	714.7	438.8+1.2g	714.7+1.2g	2279	208.1
DN250	273×7	459.2	79.0	527	645.8	1078.0	645.8+1.2g	1078.0+1.2g	5177	3793
DN300	325×8	625.4	112.5	750	885.5	1499.4	885.5+1.2g	1499.4+1.2g	10014	616.2
DN350	377×9	816.8	152	1012	1162.6	1992.2	1162.6+1.2g	1992.2+1.2g	17624	935
DN400	426×9	925.5	196	1307	1346.4	2417.6	1346.4+1.2g	2417.6+1.2g	25640	1203.7

注　表中 g 是单位长度保温结构重量，N/m，按不同的保温材料和介质温度，查国家保温管道标准图。

2. 按刚度条件

支吊架的最大允许间距为

$$L_{\max}=0.112\sqrt[3]{\frac{E_t I}{q}} \qquad (10\text{-}13)$$

式中　E_t——钢材在设计温度下的弹性模量，MPa；

I——管子断面惯性矩，cm⁴。

3. 管道活动支吊架允许间距

管道活动支吊架允许间距应根据管道直径、管材强度、管道荷载的大小、管内介质质量以及管道允许最大挠度确定。在确保安全的前提下，应尽可能扩大允许间距，以减少支吊架数量，降低造价。

不保温管道最大跨距见表 10-19，保温管道最大跨距见表 10-20，不通行地沟内管道活动支架最大允许跨距见表 10-21。

表 10-19　　不保温管道最大跨距表
（p=1.2MPa，t=200℃）

外径×厚度（mm×mm）	最大跨距					
	汽体管			液体管		
	单位重量（N/m）	按强度的跨距（m）	按刚度的跨距（m）	单位重量（N/m）	按强度的跨距（m）	按刚度的跨距（m）
32×2.5	22.4	9.19	4.86	26.8	8.40	4.61
38×2.5	28.3	9.90	5.49	34.9	8.92	5.17

续表

外径×厚度（mm×mm）	最大跨距					
	汽体管			液体管		
	单位重量（N/m）	按强度的跨距（m）	按刚度的跨距（m）	单位重量（N/m）	按强度的跨距（m）	按刚度的跨距（m）
45×2.5	34.4	10.80	6.24	44.0	9.55	5.81
57×3.5	60.1	12.04	7.36	75.0	10.86	6.90
73×3.5	80.2	13.57	8.80	106.2	11.80	8.21
89×3.5	101.7	15.01	10.11	141.4	12.73	9.20
108×4	137.3	16.83	11.77	201.6	13.89	10.55
133×4	174.8	18.49	13.63	275.5	14.73	11.98

续表

外径×厚度（mm×mm）	最大跨距					
	汽体管			液体管		
	单位重量（N/m）	按强度的跨距（m）	按刚度的跨距（m）	单位重量（N/m）	按强度的跨距（m）	按刚度的跨距（m）
159×4.5	237.6	20.13	15.48	382.5	15.86	13.53
219×6	438.8	23.57	19.37	714.7	18.47	16.89
273×7	645.8	26.17	22.65	1078.0	20.26	19.63
325×8	885.5	28.45	25.68	1499.4	21.87	22.17
377×9	1162.6	31.37	28.57	1992.2	23.96	24.60
426×9	1346.4	32.07	30.94	2417.6	23.94	26.31

表 10-20　　保温管道最大跨距表（p=1.2MPa，t=200℃）

外径×厚度（mm×mm）	项目	管子单位长度计算重量的分类											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32×2.5	管子计算重量（N/m）	70	100	130	160	190	220	250	280	310	340	370	400
	按强度计算跨距（m）	5.20	4.39	3.81	3.43	3.15	2.93	2.75	2.59	2.46	2.35	2.26	2.17
	按刚度计算跨距（m）	3.49	3.15	2.92	2.75	2.63	2.52	2.43	2.35	2.28	2.22	2.17	2.13
38×2.5	管子计算重量（N/m）	80	115	150	185	220	255	290	325	360	395	430	465
	按强度计算跨距（m）	5.89	4.91	4.30	3.87	3.55	3.30	3.09	2.92	2.77	2.66	2.54	2.44
	按刚度计算跨距（m）	4.07	3.67	3.40	3.21	3.05	2.93	2.82	2.74	2.66	2.59	2.53	2.48
45×2.5	管子计算重量（N/m）	90	125	160	195	230	265	300	335	370	405	440	475
	按强度计算跨距（m）	6.68	5.66	5.00	4.53	4.17	3.89	3.65	3.46	3.29	3.14	3.02	2.91
	按刚度计算跨距（m）	4.74	4.32	4.03	3.81	3.63	3.49	3.37	3.27	3.18	3.10	3.03	2.97
57×3.5	管子计算重量（N/m）	125	170	215	260	305	350	395	440	485	530	575	620
	按强度计算跨距（m）	8.41	7.21	6.41	5.83	5.38	5.02	4.73	4.48	4.26	4.08	3.92	3.78
	按刚度计算跨距（m）	5.98	5.48	5.12	4.86	4.64	4.47	4.32	4.19	4.08	3.98	3.89	3.81
73×3.5	管子计算重量（N/m）	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
	按强度计算跨距（m）	9.92	8.59	7.69	7.02	6.50	6.08	5.73	5.43	5.18	4.96	4.77	4.59
	按刚度计算跨距（m）	7.38	6.80	6.38	6.06	5.80	5.59	5.41	5.25	5.11	4.99	4.88	4.78
89×3.5	管子计算重量（N/m）	190	250	310	370	430	490	550	610	670	730	790	850
	按强度计算跨距（m）	10.98	9.56	8.59	7.86	7.30	6.83	6.45	6.13	5.85	5.59	5.38	5.18
	按刚度计算跨距（m）	8.48	7.85	7.38	7.03	6.74	6.49	6.29	6.11	5.95	5.81	5.69	5.57
108×4	管子计算重量（N/m）	245	320	395	470	545	620	695	770	845	920	995	1070
	按强度计算跨距（m）	12.60	11.02	9.92	9.09	8.45	7.92	7.48	7.10	6.78	6.50	6.25	6.03
	按刚度计算跨距（m）	10.01	9.29	8.75	8.34	8.00	7.72	7.47	7.26	7.08	6.92	6.77	6.63
133×4	管子计算重量（N/m）	300	390	480	570	660	750	840	930	1020	1110	1200	1290
	按强度计算跨距（m）	14.11	12.38	11.16	10.24	9.52	8.93	8.44	8.02	7.66	7.34	7.06	6.81
	按刚度计算跨距（m）	11.74	10.90	10.29	9.80	9.41	9.08	8.80	8.56	8.34	8.15	7.98	7.82
159×4.5	管子计算重量（N/m）	370	485	600	715	830	945	1060	1175	1290	1405	1520	1635
	按强度计算跨距（m）	16.13	14.09	12.66	11.60	10.77	10.09	9.53	9.05	8.64	8.28	7.96	7.67
	按刚度计算跨距（m）	13.71	12.70	11.97	11.40	10.94	10.55	10.22	9.93	9.68	9.46	9.26	9.07

续表

外径×厚度（mm×mm）	项目	管子单位长度计算重量的分类											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
219×6	管子计算重量（N/m）	620	770	920	1070	1220	1370	1520	1670	1820	1970	2120	2270
	按强度计算跨距（m）	19.69	17.66	16.16	14.99	14.04	13.24	12.57	11.99	11.49	11.04	10.65	10.29
	按刚度计算跨距（m）	17.63	16.59	15.79	15.14	14.60	14.14	13.74	13.38	13.07	12.79	12.53	12.30
273×7	管子计算重量（N/m）	880	1060	1240	1420	1600	1780	1960	2140	2320	2500	2680	2860
	按强度计算跨距（m）	22.23	20.25	18.72	17.50	16.49	15.63	14.89	14.26	13.69	13.19	12.74	12.33
	按刚度计算跨距（m）	20.85	19.79	18.94	18.24	17.65	17.14	16.69	16.29	15.93	15.61	15.31	15.04
325×8	管子计算重量（N/m）	1150	1370	1590	1810	2030	2250	2470	2690	2910	3130	3350	3570
	按强度计算跨距（m）	24.75	22.67	21.04	19.73	18.63	17.69	16.88	16.18	15.56	15.00	14.50	14.05
	按刚度计算跨距（m）	23.95	22.82	21.89	21.12	20.46	19.89	19.38	18.93	18.53	18.16	17.83	17.52
377×9	管子计算重量（N/m）	1470	1740	2010	2280	2550	2820	3090	3360	3630	3900	4170	4440
	按强度计算跨距（m）	27.62	25.39	23.62	22.18	20.97	19.95	19.05	18.27	17.58	16.96	16.40	15.90
	按刚度计算跨距（m）	26.86	25.63	24.63	23.78	23.06	22.43	21.87	21.38	20.93	20.52	20.15	19.80
426×9	管子计算重量（N/m）	1690	2010	2330	2650	2970	3290	3610	3930	4250	4570	4890	5210
	按强度计算跨距（m）	28.27	25.92	24.08	22.58	21.33	20.26	19.34	18.54	17.83	17.19	16.62	16.10
	按刚度计算跨距（m）	29.15	27.78	26.67	25.74	24.95	24.26	23.65	23.11	22.62	22.17	21.77	21.39

表 10-21　　不通行地沟内管道活动支架最大允许跨距表

公称直径	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400
蒸汽、热水管跨距（m）	1.7	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.5	7.5	8.0	8.5	9.5
不保温凝结水管跨距（m）	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	6.0	7.0	7.5	8.0	9.5	10.5	11.5	11.5	13.0

水平90°弯管两端支吊架间的管段展开长度 不应大于水平支管段上支吊架最大允许间距的0.73倍。

直管盲端两支吊架间的管道长度不应大于水平直管段上支吊架最大允许跨距的0.81倍。

4. 管道固定支架间距

管道固定支架间距应满足下列条件：

（1）管道热伸长不得超过其长期允许的补偿量。

（2）管段由于热胀而产生的推力不得超过固定支架所能承受的允许推力值。

管道固定支架最大允许跨距见表10-22。

5. 直埋水管道转角管段最小臂长

直埋敷设热水、冷水管道转角宜布置为60°～90°，转角管段两侧的臂长（弯头至驻点、锚固点或固定点的距离）不应小于表10-23的数值。

表 10-22　　管道固定支架最大允许跨距表

公称直径			DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400
方形补偿器	地沟或架空敷设（m）		30	35	45	50	55	60	65	70	80	90	100	115	130	145
套筒补偿器	通行地沟或架空敷设（m）		—	—	25	25	35	40	40	50	55	60	70	80	90	100
波纹管补偿器	地沟或架空敷设（m）		—	—	—	—	—	8	10	12	12	18	18	18	25	25
球形补偿	地沟或架空敷设（m）		100～500（一般400～500）													
L形补偿器	地沟或架空敷设	长边(m)	≤15	≤18	≤20	≤24	≤24	≤30	≤30	≤30	≤30	—	—	—	—	—
		短边(m)	≥2	≥2.5	≥3.0	≥3.5	≥4.0	≥5.0	≥5.5	≥6.0	≥6.0	—	—	—	—	—

表 10-23　直埋热水管道转角管段最小臂长

公称直径	最小臂长（m）	公称直径	最小臂长（m）
DN25	1.3	DN150	3.9
DN32	1.5	DN200	4.8
DN40	1.8	DN250	5.4
DN50	2.0	DN300	6.2
DN65	2.4	DN350	6.8
DN80	2.6	DN400	7.2
DN100	3.0	DN450	7.8
DN125	3.5	DN500	8.2

（三）管道支吊架荷载

1. 活动支吊架荷载

（1）活动支吊架的荷载应包括钢管、保温结构及管内介质的重量。蒸汽管道应考虑压力试验的充水重量。

（2）支吊架零部件自重。

（3）管道上柔性管件（如波纹管补偿器、金属软管等）由于内部压力所产生的作用力。

（4）支吊架约束管道位移（包括热胀、冷紧和端点附加位移）所承受的约束反力和弹簧支吊架转移荷载。

（5）室外管道的风雪荷载。

（6）正常运行时，可能产生的管道振动力。

（7）管内流体动量突变（如水锤）引起的瞬态作用力。

（8）蒸汽排放时产生的反作用力。

（9）管道装在有地震地区产生的地震力，但不考虑地震与风荷载同时出现的工况。

（10）进行活动支架摩擦力计算时，钢管计算重量应乘以系数 1.1；保温结构计算重量应乘以系数 1.2；蒸汽管道介质计算重量应考虑运行中可能产生的凝结水的重量。

2. 固定支架荷载

（1）管道对固定支架的作用力计算应包括以下三部分：

1）活动支架摩擦力。摩擦系数可取下列数值：

a. 钢与钢滑动摩擦：0.3；

b. 钢与混凝土滑动摩擦：0.6；

c. 不锈钢与聚四氟乙烯滑动摩擦：0.1；

d. 钢与钢滚动摩擦：0.1。

2）自然补偿管段弹性力、补偿器弹性力或摩擦力。

3）两侧管道横截面不对称产生的内压不平衡力。

（2）管道作用于固定支座的水平荷载应考虑最不利运行状态，并按下列规定计算：

1）固定支座的水平荷载应包括管道由于活动支座摩擦力产生的轴向力、内压产生的不平衡力和补偿器反力等。

2）计算固定支座的轴向推力时，应考虑固定支座两侧管道水平荷载的抵消作用。

3）当固定支座承受分支管道引起的侧向水平荷载时，侧向水平荷载应按侧向管道由于活动支座摩擦力产生的轴向力、内压产生的不平衡力和补偿器反力等计算。当有双向分支管时，只计算荷载较大一侧的水平荷载。

（3）管道固定支架两侧管段作用力合成时，应按以下原则进行：

1）应考虑升温和降温过程，选择最不利工况和最大温差进行计算。

2）当固定支架承受几个支管的作用力时，应考虑几个支管作用力的最不利组合。

3）按弹性力或摩擦力及内压不平衡力计算的作用力相互抵消时，较小方向作用力应乘以 0.7 的抵消系数。

4）固定支架两侧管段内压不平衡力的抵消系数取 1。

（4）进行管道整体压力试验时应对固定支架的承载能力进行校核，必要时采取临时加固措施。试压时管道对固定支架的作用力应包括管道或补偿器的预变形弹性力和按试验压力计算的内压不平衡力。

（5）在同一支架上敷设不同季节运行的多根管道时，计算其活动支架摩擦力及固定支架受力时，应根据管道的运行规律，考虑管道可能产生的最大作用力。

九、管材及附件

（一）管道材料

（1）供冷管道的材料应采用镀锌钢管，大于 DN150 的供冷管道、所有热水和蒸汽供暖管道可采用无缝钢管和电焊钢管，管道的材质和规格应符合现行国家标准的相关规定。

（2）管道钢材钢号及适用范围见表 10-24。

表 10-24　管道钢材钢号及适用范围

钢号	设计参数	钢板厚度
Q235AF	$p\leqslant1.0$MPa，$t\leqslant95$℃	≤8mm
Q235A	$p\leqslant1.6$MPa，$t\leqslant150$℃	≤16mm
Q235B	$p\leqslant2.5$MPa，$t\leqslant300$℃	≤20mm
10、20	$p\leqslant2.5$MPa，$t\leqslant425$℃	不限
16Mn	$p\leqslant4.0$MPa，$t\leqslant450$℃	不限

（3）预制直埋保温管。直埋敷设热水管道的保温材料为聚氨酯硬质泡沫塑料，保护壳材料可采用高密度聚乙烯外护管或玻璃钢外护层。直埋敷设蒸汽管道的保护壳材料可采用钢管。直埋保温管保温层厚度应

根据敷设情况经计算确定，保护层厚度应根据敷设条件确定。我国现有预制保温管规格尺寸基本相同。典型的预制直埋保温管尺寸见表10-25。

表10-25 典型的预制直埋保温管尺寸

公称直径	钢管外径（mm）		钢管壁厚（mm）	外护管外径（mm）	聚乙烯外护管壁厚（mm）	玻璃钢外护层壁厚（mm）
DN25	34	32	3	90	2.2	1.5
DN32	42	38	3	110	2.5	1.5
DN40	48	45	3.5	110	2.5	1.5
DN50	60	57	3.5	125	3	1.5
DN65	76	73	4	140	3	2
DN80	89	89	4	160	3	2
DN100	114	108	4	200	3.2	2
DN125	140	133	4.5	225	3.5	2.5
DN150	168	159	4.5	250	3.9	2.5
DN200	219	219	6	315	4.9	2.5
DN250	273	273	6	400	6.3	2.5
DN300	325	325	7	450	7	3
DN350	356	377	7	500	7.8	3
DN400	406	426	7	560	8.8	3
DN450	457	478	7	600	8.8	4
DN500	508	529	7	655	9.8	4

（二）管道连接

供冷、热水和蒸汽供暖管道的连接应采用焊接。管道与设备、阀门等需要拆卸的附件连接时，应采用法兰连接。公称直径不大于25mm的放气阀可采用螺纹连接。

直埋保温管接头套袖与外护管连接可采用热收缩带、电热熔焊等形式。保温材料应达到规定的密度，不宜采用手工发泡，现场采用发泡机发泡。

（三）管道附件

1. 地沟或架空管道附件

供冷、热水和蒸汽供暖管道中可采用热压弯头。弯头的材质不应低于管道材质，壁厚不应小于管道壁厚。

热水和蒸汽供暖管道所用的变径管可采用热压或钢板焊制，其材质不应低于管道钢材质量，壁厚不应小于管道壁厚。

供冷、热水和蒸汽供暖管道可采用焊制三通或压制三通，钢管焊制三通支管开孔处应进行补强。三通的材质不应低于管道钢材质量，壁厚不应小于管道壁厚。

采用弯管补偿器时，公称直径不大于125mm的管道宜采用无缝钢管煨弯制作，公称直径大于125mm的管道宜采用机制弯管制作。

2. 直埋保温管件

直埋管件的保温采用工厂预制保温的成品。常用有以下几种：

（1）弯头。宜采用压制、推至或热煨制作的光滑弯头或弯管，不得使用皱褶弯头。

（2）三通。应在开孔区周围加设传递主管轴向荷载的结构，抑制三通开孔区的变形。

（3）阀门。应能承受管道的轴向荷载，采用钢质阀门及焊接连接。

（4）固定节。应采用整体密封结构，防止地下水渗入保温层和钢管外层。结构形式除承受管道轴向推力外，应满足外护管和热收缩带使用温度的要求。

当采用钢质外护管时，宜采用内固定支架。

（5）其他。防气装置、防水装置、变径管、管封头等。

十、管道保温

（1）冷网或热网的管道及附件的绝热设计参见第十一章。

（2）供热介质设计温度高于50℃的热水和蒸汽管道及附件均应保温。管道地沟内敷设的凝结水管道可以不保温。冷网管道外表面温度低于环境温度以下时，应设保冷层。

（3）保温（冷）材料及其制品的技术性能应符合下列规定：

1）保温材料的平均温度低于350℃时，其导热系数不得大于0.12W/（m·℃）。

2）保冷材料的平均温度低于27℃时，其导热系数不应大于0.064W/（m·℃）。

3）硬质保温材料的密度不得大于300kg/m^3，抗压强度不得小于0.4MPa；软质材料及半硬质保温制品密度不得大于200kg/m^3。

4）保冷材料的密度不得大于200kg/m^3，用于保冷的硬质材料的抗压强度不得小于0.15MPa。

（4）供热管道保温层的厚度应通过技术经济比较确定。冷水管道保冷层的厚度应满足保温层外表面不结露的要求。

（5）阀门和法兰等部位宜采用可拆卸式保温结构。

（6）保温（冷）层外应有性能良好的外保护层。保护层应具有强度高、抗老化、防水防潮以及化学稳定性好等性能，其使用寿命不得小于设计使用年限。

（7）架空和不通行地沟内敷设的冷、热管道，其保温（冷）结构应有良好的防水层。

（8）冷水管道保温应考虑支架（座）热桥传热可能产生凝结水问题。

十一、检查井及检查平台

（一）检查井

（1）厂区内直埋或地沟敷设的冷热水管、蒸汽管

和凝结水管网的阀门、补偿器、排水点、放气点和疏水点应设置检查井。检查井的设置应符合下列要求：

1）检查井的高度不应小于 1.8m。当检查井盖板能全揭开时，净高可适当降低。

2）人行通道宽度不应小于 0.6m。

3）干管保温结构表面与检查室地面的距离不应小于 0.6m。

4）检查井的人孔直径不应小于 0.7m，人孔数量不应少于 2 个，并应对角布置。当检查井净空面积小于 $4m^2$ 时，可设 1 个人孔。人孔应避开检查井内的设备。当检查井深度大于 4m 时，宜设计为双层，两层人孔宜错开布置。

5）直埋蒸汽管道的疏水井宜采用主副井布置方式，关断阀门或阀组、疏水口应分别设置在两个井室内。

6）检查室内至少应设 1 个集水坑，并应置于人孔下方。集水坑应有排水管接至下水道。集水坑规格为 400mm×400mm×500mm（长×宽×深），坑上设格栅坑盖板。

7）主干线或较长的地沟以及检查井内的集水排水管管径不宜小于 150mm，并应有防止倒灌的设施。

8）检查室地面应低于相邻管沟底面，且不小于 0.3m。

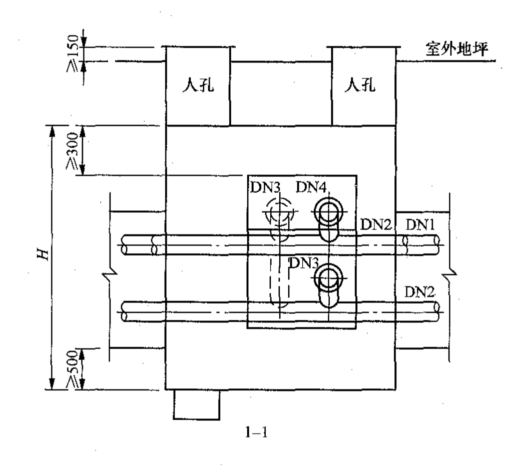
9）检查室内爬梯高度大于 4m 时应设护栏，或在爬梯中间设平台。

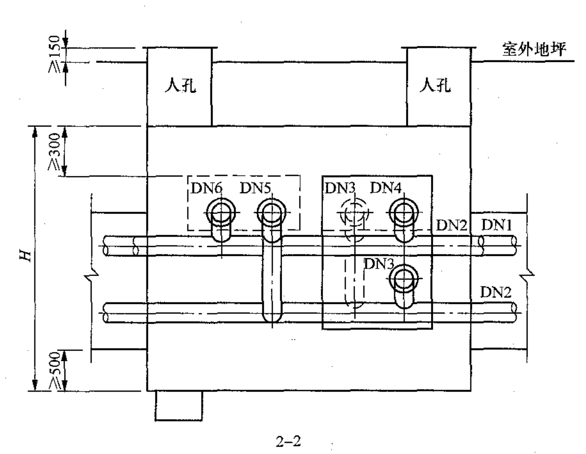
（2）当检查井内需更换的设备、附件不能从人孔进出时，应在检查室顶板上设安装孔。

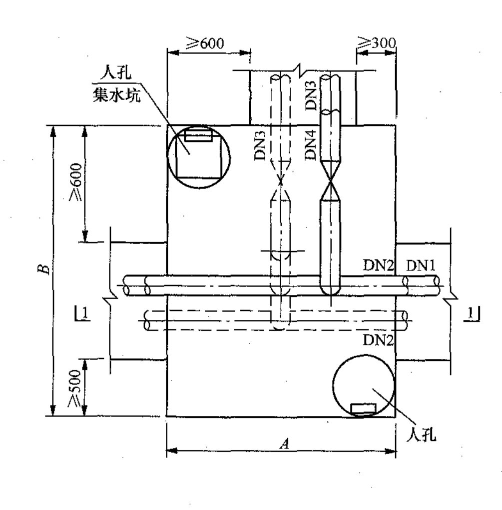
（3）当检查室内装有电动阀门时，应采取采暖通风措施保证安装地点的空气温度、湿度满足电气装置的技术要求。

（4）检查井的选取可参考国家建筑标准设计图集 13SR425《室外热力管道检查井》。

1）与地沟相连的双管三通、四通检查井如图 10-14 所示，检查井尺寸见表 10-26。







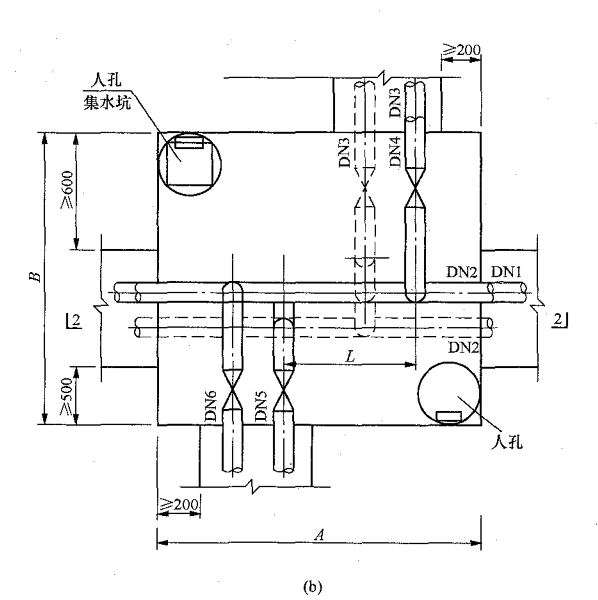


图 10-14　检查井布置尺寸图

（a）三通检查井；（b）四通检查井

表 10-26　　检查井尺寸表　　(mm)

公称直径						三通检查井			四通检查井			
DN1	DN2	DN3	DN4	DN5	DN6	A	B	H	A	B	H	$L\geqslant$
≤100	≤100	≤65	≤65	≤50	≤50	2200	2200	2000	2400	2400	2400	550
≤125	≤125	≤80	≤80	≤50	≤50	2400	2400	2000	2400	2400	2400	600
≤150	≤150	≤100	≤100	≤65	≤65	2400	2400	2000	2600	2600	2400	700
≤200	≤200	≤125	≤125	≤80	≤80	2600	2600	2200	2600	2600	2600	700
≤250	≤250	≤150	≤150	≤100	≤100	2800	2800	2600	2800	2800	2600	700
≤300	≤300	≤200	≤200	≤125	≤125	2800	2800	2600	3000	2800	2600	800
≤350	≤350	≤200	≤200	≤100	≤100	2400	2400	3000	2800	2400	3000	800
≤400	≤400	≤250	≤250	≤125	≤125	2400	2400	3000	3000	2400	3200	870
≤450	≤450	≤300	≤300	≤150	≤150	2600	2600	3200	3200	2600	3200	1100
≤500	≤500	≤350	≤350	≤200	≤200	2600	2600	3200	3400	2600	3400	1300

2）双管直埋热水管道波纹补偿器检查井示意如图 10-15 所示，检查井尺寸见表 10-27。

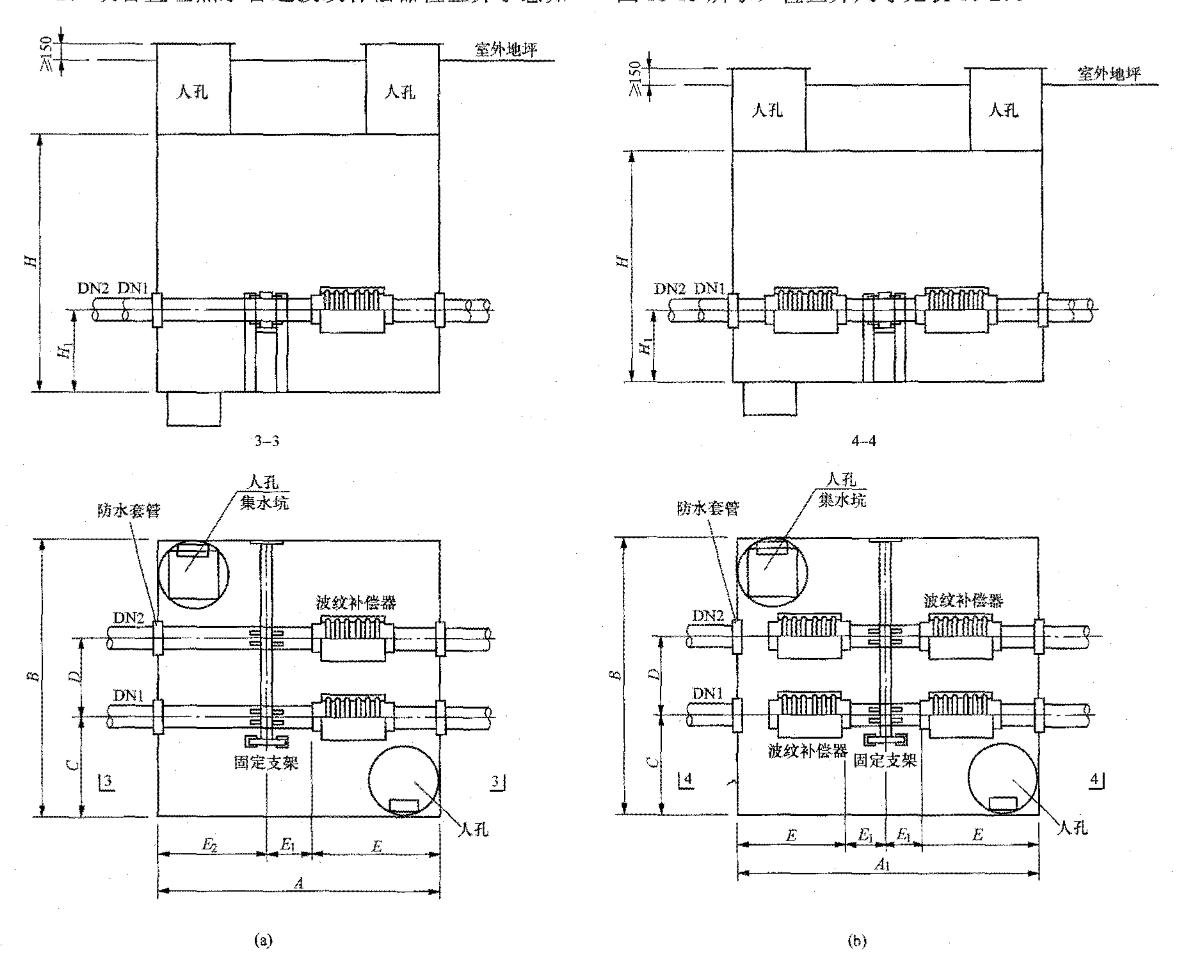


图 10-15　双管直埋热水管道波纹补偿器检查井示意图

(a) 单侧布置；(b) 双侧布置

表 10-27　　双管直埋热水管道波纹补偿器检查井尺寸表　　(mm)

DN1	DN2	A	A_1	B	C	D	E	E_1	E_2	H_1	H
50	50	3000	4200	2000	825	350	1800	300	900	850	2000
65	65	3200	4600	2200	900	400	2000	300	900	850	2000
80	80	3500	5200	2200	900	430	2200	400	900	850	2000
100	100	3700	5600	2200	900	470	2400	400	900	850	2200
125	125	4200	6600	2400	950	500	2800	500	900	900	2400
150	150	4200	6600	2400	950	570	2800	500	900	900	2400
200	200	4800	7000	2600	1000	630	2900	600	1300	900	2400
250	250	5000	7400	2800	1100	700	3100	600	1300	900	2600
300	300	5400	8200	3000	1100	800	3300	800	1300	900	2600
350	350	5400	8200	3200	1200	870	3300	800	1300	950	2600
400	400	5400	8200	3400	1300	950	3300	800	1300	1000	2600
450	450	5600	8600	3600	1300	1040	3500	800	1300	1000	2800
500	500	5600	8600	3800	1350	1110	3500	800	1300	1200	2800

3）直埋热水管道旁置式放水井的布置如图 10-16 所示，尺寸见表 10-28。

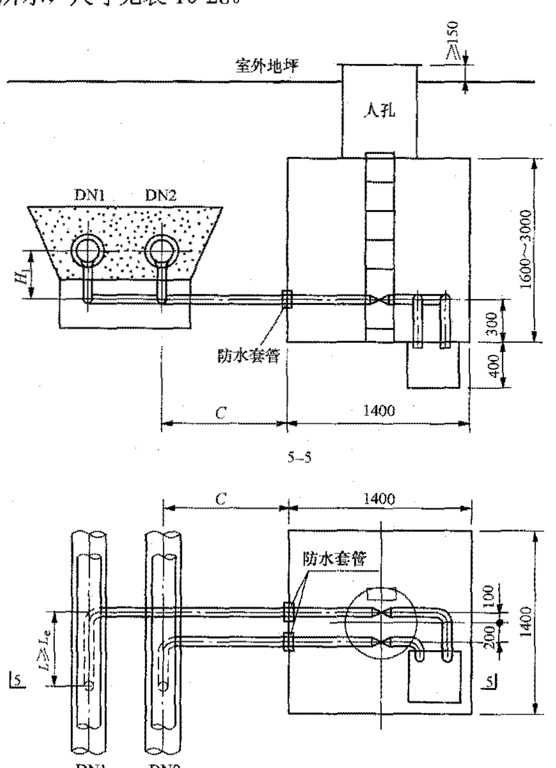


图 10-16　直埋热水管道旁置式放水井的布置图

注：L_e 为最小弯管臂长。

表 10-28　　直埋热水管道旁置式放水井尺寸表　　(mm)

DN1、DN2	50	65	80	100	125	150	200
C	600	610	620	640	660	670	700
H_1	250	250	250	250	250	250	250

DN1、DN2	250	300	350	400	450	500
C	740	770	790	820	840	870
H_1	250	300	300	300	300	300

（二）检查平台

（1）中、高支架架空敷设的管道，安装阀门、放水、放气、除污及疏水装置的地方应设操作平台。工程有特殊检修要求时，可沿架空管道设检修便桥。检查平台、检修便桥的设置应符合下列要求：

1）平台的尺寸应保证检修人员操作方便。

2）检修便桥宽度不应小于 0.6m。

3）平台或便桥周围应设防护栏杆及爬梯。

（2）架空敷设管道上，露天安装的电动阀门，其驱动装置和电气部分的防护等级应满足露天安装的环境条件，应设置防止无关人员操作的防护措施。

（三）地上与地下管道敷设连接处

（1）当地下敷设管道只需安装放气阀门且埋深很小时，可不设检查室，只在地面设检查井口，放气阀门的安装位置应便于工作人员在地面进行操作；当埋深较大时，在保证安全的条件下，也可只设检查人孔。

（2）地上敷设管道与地下敷设管道连接处，地面不得积水，连接处的地下构筑物应高出地面 0.3m 以上，管道穿入构筑物的孔洞应采取防止雨水进入的措施。

第二节　供暖管网水力计算

一、供暖管网设计原则

（一）管网水力计算的目的

（1）按设计流量和允许压降，选择管道的直径。

（2）按设计流量和选择的管径，计算压力损失，确定或分配各用户的入口压力。

（3）按已确定的管径和允许压降，计算或校核管道中的流量。

（4）根据管网水力计算的结果，确定管网循环水泵的流量和扬程。

（5）在管网水力计算的基础上绘出水压图。

（6）当输送过热蒸汽时，应校核热用户入口管道蒸汽温度是否符合设计要求。

（7）当输送饱和蒸汽时，应校核热用户入口管道蒸汽压力是否符合设计要求。

（二）供暖管网设计要求

（1）供暖管网应采用闭式双管制系统，其供、回水管道应采取相同的管径。

（2）设计热负荷时应按近期热负荷设计，当近期发展热负荷和发展位置已明确时，可计入发展热负荷。对分期建设或远期建设的热负荷，可以在设计中留有余量或考虑增设新管网的可能性。

（3）进行供暖管网水力计算时，应绘制管道平面布置图、简易计算系统图，在图中注明各热用户和管段的几何展开长度以及计算参数、管道附件、补偿器、流量孔板、阀门等。热水管网还应注明各管段的始、终点标高。

（4）在进行热水管网的水力计算时，应注意提高整个供热系统的水力稳定性。为防止水力失调可以采取如下措施：

1）减少管网主干线的压力损失，在计算时宜选取较小的比摩阻，增大主干线管径，实际工程中建议取值为30～60Pa/m。

2）支线按照允许压力降确定管径，宜选取较大的支管比摩阻，减小支线管径。供暖介质流速不应大于3.5m/s，支干线比摩阻不应大于300Pa/m，支线比摩阻不宜大于 400Pa/m，实际工程中建议不超过200Pa/m；靠近热源点处的支线比摩阻取大值，避免近热源点区域的单个热用户或阻力小的热用户直接从主干管引接。

3）增加热用户系统的可调节性，一般在热用户入口处安装手动调节阀（或自力式流量控制阀、静态平衡阀、调压孔板），控制和调节入口压力。

4）热水供暖系统的热源内部压力损失对管网的水力稳定性也有影响，一般在热源内部留有一定的富裕压头，在正常工况下，富裕压头消耗在循环水泵的出口阀门上。当管网流量发生变化引起热源出口的压力变化时，可调整循环水泵出口阀门的开度，使出口压力保持稳定。

（5）供热管网干管的管径不应小于 50mm，而通往各单体建筑物（热用户）的管径一般蒸汽管网不宜小于25mm，热水管网不宜小于32mm。

（6）厂区供暖管网与各热用户宜采用直接连接的方式，在供热管网计算中，有的点出现静压超过允许极限值时，一般从此点与其他系统分开，设置独立或隔开的供暖系统。

（三）供暖管道设计流速及粗糙度

蒸汽、热水及凝结水等常用管道的热介质允许最大流速和表面粗糙度按表10-29选取。

表10-29　常用管道允许最大流速及粗糙度

介质	公称直径（mm）	允许最大流速（m/s）	表面粗糙度 *Ra* 值（mm）
过热蒸汽	32～40	30～50	0.1～0.2
	50～80	35～40	
	100～200	40～50	
	>200	60～80	
饱和蒸汽	32～40	20～25	0.2
	50～80	25～30	
	100～200	30～35	
	>200	40～60	
热水	32～40	0.5～1.0	0.5
	50～100	1.0～2.0	
	≥150	2.0～3.0	
凝结水热水供应	有压	0.5～2.0	1
	自流	0.2～0.5	
乏汽	≤150	20	1
	≥200	30	
给水	水泵进口管	0.5～1.5	0.5
	水泵出口管	1.5～2.5	

计算管径时，若考虑将来发展需增加流量的可能性，则宜选取较低流速；如管道的允许压力损失较大时，宜选用较高流速。但流速过大时，不仅会导致压力损失增大，而且有可能出现管道振动现象。

（四）设计流量

1. 热水供暖管网设计流量

供暖、通风、空调热负荷热水供暖管网设计流量

计算式为

$$G_h=3.6\frac{Q}{c(t_g-t_h)} \tag{10-14}$$

式中 G_h——供暖管网设计流量，t/h；

Q——热负荷，kW；

c——水的比热容，取 4.1868kJ/（kg・℃）；

t_g——热网供水温度，℃；

t_h——热网回水温度，℃。

2．蒸汽供暖管网设计流量

蒸汽供暖管网设计流量计算式为

$$G_s=\frac{3.6\Sigma Q_{max}K}{r} \tag{10-15}$$

式中 G_s——蒸汽供暖管网设计流量，t/h；

ΣQ_{max}——各热用户最大热负荷之和，kW；

K——各热用户同时使用系数；

r——汽化压力下的汽化潜热，kJ/kg。

当供热介质为饱和蒸汽时，设计流量应包括补偿管道热损失产生的凝结水的蒸汽量。

3．凝结水干线设计流量

凝结水干线设计流量计算式为

$$G=G_s\varphi \tag{10-16}$$

式中 G——凝结水干线设计流量，t/h；

G_s——蒸汽供暖管网设计流量，t/h；

φ——蒸汽供热系统凝结水平均回收率，%。

凝结水支线设计流量应按各热用户实际最大回收量的 1.5～2.0 倍计算，最小不小于 1.2 倍。

（五）水力计算基本公式

（1）管道内径计算式为

$$d_n=594.5\sqrt{\frac{G}{v\rho}} \tag{10-17}$$

式中 d_n——管道内径，mm；

G——热介质质量流量，t/h；

v——管内介质流速，m/s；

ρ——热介质密度，kg/m³。

（2）管道总压力损失计算式为

$$\Delta p=\Delta p_f+\Delta p_j \tag{10-18}$$

式中 Δp——管道总压力损失，Pa；

Δp_f——管道直管段摩擦阻力损失，Pa；

Δp_j——管道局部阻力损失，Pa。

（3）管道直管段摩擦阻力损失计算式为

$$\Delta p_f=RL \tag{10-19}$$

$$R=6.25\times10^{-2}\frac{G^2\lambda}{d_n^5\rho} \tag{10-20}$$

$$\lambda=0.11\left[\frac{Ra}{d_n}\right]^{0.25} \tag{10-21}$$

式中 R——直管段平均比摩阻，Pa/m；

L——直管段长度，m；

λ——管道摩擦阻力系数；

Ra——表面粗糙度，mm。

（4）管道局部阻力损失计算式为

$$\Delta p_j=\Sigma\zeta\frac{\rho v^2}{2} \tag{10-22}$$

式中 $\Sigma\zeta$——管道局部阻力系数之和。

（5）管道当量长度。为了简化计算，引进当量长度概念。计算局部阻力损失时，把局部阻力损失化成长度损失的形式来计算，即

$$\Delta p_j=\Sigma\zeta\frac{\rho v^2}{2}=RLL_{el} \tag{10-23}$$

式中 L_{el}——局部阻力当量长度，m，可按表 10-30、表 10-31 取值。

表 10-30　　热水管道附件局部阻力当量长度（Ra=0.5mm）

名称		图例	公称直径												ζ
			DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN175	DN200	DN250	
			局部阻力当量长度（m）												
闸阀			—	—	—	0.65	1	1.28	1.65	2.2	2.24	2.9	3.36	3.83	0.5
截止阀	直杆		5.1	6	7.8	8.4	9	10.2	13.5	18.5	24.6	33.4	39.5	—	7
	斜杆		0.57	0.64	0.73	0.92	1.3	1.5	1.6	—	—	—	—	—	2
止回阀	旋启式		0.74	0.98	1.26	1.7	2.8	3.6	4.96	7	9.52	13	16	22.2	3
	升降式		4	5.25	6.8	9.16	14	17.9	23	30.3	39.2	50.6	56.8	—	7
套筒补偿器	单向								0.66	0.88	1.68	2.17	2.52	3.33	0.4
	双向								1.98	2.64	3.36	4.34	5.04	6.66	0.6
除污器											56	72.4	84	111	8

续表

名称		图例	公称直径												ζ
			DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN175	DN200	DN250	
			局部阻力当量长度（m）												
单缝焊接弯头	30°	30°									1.12	1.45	1.68	2.22	0.2
	45°	45°									1.68	2.17	2.52	3.33	0.3
	60°	60°									3.92	5.06	5.9	7.8	0.7
	90°	90°									7.28	9.4	10.9	14.4	1.8
焊接弯头	双缝 R=1D	R									3.92	5.06	5.9	7.8	0.7
	三缝 R=1.5D	R									3.36	4.34	5.04	6.7	0.5
	四缝 R=1D	R									3.36	4.34	5.04	5.55	0.5
热压弯头 R=1.5～2D		R	0.29	0.38	0.48	0.65	1	1.28	1.65	2.2	2.8	3.62	4.2	4.4	0.5
煨弯	R=3D	R	0.23	0.3	0.39	0.52	0.8	1.02	1.32	1.76	2.24	2.9	3.36	3.3	0.4
	R=4D		0.17	0.22	0.29	0.4	0.6	0.76	0.98	1.32	1.68	2.17	2.52	3.3	0.3
方形补偿器	三缝焊弯 R=1D														3
	三缝焊弯 R=1.5D										17.6	22.1	24.8	33	2.5
	热压弯头 R=1.5～2D		3.1	3.5	4	5.2	6.8	7.9	9.8	12.5	15.4	19	23.4	28	3
	煨弯 R=3D		2.1	2.4	2.7	3.5	4.9	5.4	6.5	8.4	10	12.6	14.4	18	1.7
	煨弯 R=4D		1.7	1.8	2	2.4	2..9	3.5	3.8	5.6	6.5	8.4	9.3	11.2	2.0
波形补偿器	无内套								5.57	7.5	8.4	10.1	10.9	13.3	2
	有内套								0.33	0.44	0.56	0.72	0.84	1.1	0.2
分流三通	直通		0.57	0.75	0.97	1.3	2	2.55	3.3	4.4	5.6	7.24	8.4	11.1	1.0
	分支		0.86	1.13	1.45	1.96	3	3.82	4.95	6.6	8.4	10.9	12.6	16.7	1.5
汇流三通	直流		0.86	1.13	1.45	1.96	3	3.82	4.9	6.6	8.4	10.9	12.6	16.7	1.5
	分支		1.14	1.5	1.94	2.62	4	5.1	6.6	8.8	11.2	14.5	16.8	22.2	2
背向分流三通			1.14	1.5	1.94	2.62	4	5.1	6.6	8.8	11.2	14.5	16.8	22.2	2
对面汇流三通			1.71	2.25	2.91	3.93	6	7.65	9.8	13.2	16.8	21.7	25.2	33.3	3
异径管	A_1/A_0=2	D_1 D_0			0.1	0.13	0.2	0.26	0.33	0.44	0.56	0.72	0.84	1.1	0.1
	A_1/A_0=3				0.14	0.2	0.3	0.38	0.98	1.32	1.68	2.17	2.52	3.3	0.3
	A_1/A_0=4				0.19	0.26	0.4	0.51	1.6	2.2	2.8	3.62	4.2	5.55	0.5

续表

名称		图例	公称直径											ζ
			DN300	DN350	DN400	DN450	DN500	DN600	DN700	DN800	DN900	DN1000	DN1200	
			局部阻力当量长度（m）											
闸阀			4.17	4.3	4.5	4.7	5.3	5.7	6	6.4	6.8	7.1	7.5	0.5
截止阀	直杆		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7
	斜杆		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
止回阀	旋启式		29.2	33.9	46	56	66	89.5	112	133	158	180	226	3
	升降式		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7
套筒补偿器	单向		4.17	5	10	11.7	13.1	16.5	19.4	22.8	26.3	30.1	37.6	0.4
	双向		8.34	10.1	12	14	15.8	19.9	23.3	27.4	31.6	36.1	45.1	0.6
除污器			139	168	200	233	262	331	348	456	526	602	752	8
单缝焊接弯头	30°		2.78	3.36	4	4.7	5.3	6.6	7.8	9.2	10.5	12	15	0.2
	45°		4.17	5	6	7	7.9	9.9	11.7	13.7	15.8	18	21.6	0.3
	60°		9.7	11.8	14	16.3	18.4	23.2	27.2	32	36.8	42.1	52.6	0.7
	90°		18.1	21.8	26	30.3	34.2	43.1	50.4	59.4	68.3	78.2	97.8	1.8
焊接弯头	双缝 R=1D		9.7	11.8	14	16.3	18.4	23.2	27.2	32	36.8	42.1	52.6	0.7
	三缝 R=1.5D		8.34	10.1	12	14	15.8	19.9	23.3	27.4	31.6	36.1	45.1	0.5
	四缝 R=1D		8.34	10.1	12	14	15.8	19.9	23.3	27.4	31.6	36.1	45.1	0.5
热压弯头 R=1.5～2D			6.95	8.4	10	11.7	13.1	16.5	19.4	22.8	26.3	30.1	37.6	0.5
煨弯	R=3D		5.56	6.7	8									0.4
	R=4D		4.17	5.0	6									0.3
方形补偿器	三缝焊弯 R=1D					78	89	110	126	147	166	188	230	3
	三缝焊弯 R=1.5D		40	47	55	67	76	94	110	128	145	164	200	2.5
	热压弯头 R=1.5～2D		34	40	47	60	68	83	95	110	124	140	170	3
	煨弯 R=3D		22	26	31									1.7
	煨弯 R=4D		11.5	16	20									2.0

续表

名称		图例	公称直径											ζ
			DN300	DN350	DN400	DN450	DN500	DN600	DN700	DN800	DN900	DN1000	DN1200	
			局部阻力当量长度（m）											
波形补偿器	无内套		13.9	15.1	16	16.3	17.1	19.9	22.5	24.7	26.3	30.1	37.6	2
	有内套		1.4	1.68	2	2.4	2.6	3.3	3.9	4.6	5.3	6	7.5	0.2
分流三通	直通		13.9	16.8	20	23.3	26.3	33.1	38.8	45.7	52.6	60.2	75.2	1.0
	分支		20.8	25.2	30	35	39.4	49.6	58.2	68.6	78.8	90.2	113	1.5
汇流三通	直流		20.8	25.2	30	35	39.4	49.6	58.2	68.6	78.8	90.2	113	1.5
	分支		27.8	33.6	40	46.6	52.5	66.2	77.6	91.5	105	120	150	2
背向分流三通			27.8	33.6	40	46.6	52.5	66.2	77.6	91.5	105	120	150	2
对面汇流三通			41.7	50.4	60	69.9	78.7	99.3	116	137	158	181	226	3
异径管	A_1/A_0=2		1.4	1.68	2	2.4	2.6	3.3	3.9	4.6	5.26	6	7.5	0.1
	A_1/A_0=3		4.17	5	6	4.7	53	6.6	7.8	9.2	10.5	12	15	0.3
	A_1/A_0=4		6.95	8.4	10	7	7.9	9.9	11.6	13.7	15.8	18	22.6	0.5

注　1．闸阀带收缩口和导向筋的，乘以系数 2。

2．对无内套的波形补偿器，两波乘以 2，三波乘以 3。

3．三通管的当量长度一律算在总管上。

4．异径管的当量长度一律算在直径小的一面。

5．D 为管道直径，mm。

6．A_1 为管道直径为 D_1 对应的面积，mm^2；A_0 为管道直径为 D_0 对应的面积，mm^2。

表 10-31　　蒸汽管道附件局部阻力当量长度（Ra=0.2mm）

名称		图例	公称直径												ζ
			DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN175	DN200	DN250	
			局部阻力当量长度（m）												
闸阀			—	—	—	0.88	1.33	1.67	2.12	2.32	2.76	3.66	4.2	4.8	0.5
截止阀	直杆		7.1	8.2	10.5	11.4	12	13.3	17.4	23.8	30.4	42	49.3	—	7
	斜杆		0.79	0.87	1.02	1.23	1.73	2	2.12	—	—	—	—	—	2
止回阀	旋启式		1.03	1.33	1.7	2.29	3.72	4.64	6.36	9.05	11.7	16.5	20	28	3
	升降式		5.5	7.1	9.2	12.3	18.6	23.3	29.7	39.8	48.3	64	73.5	—	7
套筒补偿器	单向		—	—	—	—	—	—	0.85	1.13	2.07	2.74	3.15	4.2	0.4
	双向		—	—	—	—	—	—	2.55	3.4	4.14	5.5	6.3	8.4	0.6
除污器			—	—	—	—	—	—	—	—	69	91.5	105	140	8
单缝焊接弯头	30°		—	—	—	—	—	—	—	—	1.38	1.83	2.1	2.8	0.2
	45°		—	—	—	—	—	—	—	—	2.07	2.74	3.15	4.2	0.3

续表

名称		图例	公称直径												ζ
			DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN175	DN200	DN250	
			局部阻力当量长度（m）												
单缝焊接弯头	60°		—	—	—	—	—	—	—	—	4.83	6.4	7.35	9.8	0.7
	90°		—	—	—	—	—	—	—	—	9	11.9	13.7	18.2	1.8
焊接弯头	双缝 R=1D		—	—	—	—	—	—	—	—	4.83	6.4	7.35	9.8	0.7
	三缝 R=1.5D		—	—	—	—	—	—	—	—	4.14	5.5	6.3	8.4	0.5
	四缝 R=1D		—	—	—	—	—	—	—	—	4.14	5.5	6.3	8.4	0.5
热压弯头 R=1.5～2D			0.4	0.51	0.66	0.88	1.33	1.67	2.12	2.82	3.45	4.6	5.25	7	0.5
煨弯	R=3D		0.32	0.41	0.52	0.7	1.06	1.33	1.7	2.26	2.76	3.66	4.2	5.6	0.9
	R=4D		0.24	0.31	0.39	0.53	0.8	1	1.27	1.7	2.07	2.74	3.15	4.2	0.3
方形补偿器	三线焊弯 R=1D														3
	三线焊弯 R=1.5D		—	—	—	—	—	—	—	—	24	30.8	34.6	44.6	2.5
	热压弯头 R=1.5～2D		5.1	5.6	6.6	8.1	10.5	12.9	14.9	19.4	21.2	27.2	30.4	40	3
	煨弯 R=3D		3.9	4.2	4.7	6	7.9	9.4	10.8	13.2	15.6	20	22	28	1.7
	煨弯 R=4D		3.4	3.6	3.9	4.9	6	7.4	8.3	10	11.7	15	16.2	20.4	2.0
波形补偿器	无内套		—	—	—	—	—	—	7.2	9.6	10.4	12.8	13.7	16.8	2
	有内套		—	—	—	—	—	—	0.42	0.56	0.69	0.92	1.05	1.4	0.2
分流三通	直通		0.79	1.02	1.31	1.76	2.66	3.33	4.24	5.65	6.9	9.15	10.5	14	1.0
	分支		1.19	1.53	1.97	2.64	4	5	6.36	8.5	10.4	13.7	15.8	21	1.5
汇流三通	直通		1.19	1.53	1.97	2.64	4	5	6.36	8.5	10.4	13.7	15.8	21	1.5
	分支		1.58	2.04	2.62	3.52	5.32	6.66	8.5	11.3	13.8	18.3	21	28	2
背向分流三通			1.58	2.04	2.62	3.52	5.32	6.65	8.5	11.3	13.8	18.3	21	28	2
对面汇流三通			2.37	3.06	3.93	5.28	8	10	12.7	17	20.7	27.4	31.5	42	3
异径管	A_1/A_0=2		—	—	0.13	0.18	0.27	0.33	0.42	0.56	0.69	0.92	1.05	1.4	0.1
	A_1/A_0=3		—	—	0.2	0.26	0.4	0.5	1.27	1.7	2.07	2.74	3.15	4.2	0.3
	A_1/A_0=4		—	—	0.26	0.35	0.53	0.67	2.12	2.82	3.45	4.6	5.25	7	0.5

续表

名称		图例	公称直径											ζ
			DN300	DN350	DN400	DN450	DN500	DN600	DN700	DN800	DN900	DN1000	DN1200	
			局部阻力当量长度（m）											
闸阀			5.2	5.4	5.6	5.8	6.5	6.9	7.4	7.8	8.3	8.7	9.2	0.5
截止阀	直杆		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7
	斜杆		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
止回阀	旋启式		36.5	4.6	57.2	69.6	8.17	110	138.5	162	194	219	274.3	3
	升降式		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7
套筒补偿器	单向		5.2	6.3	12.5	14.5	16.4	20.3	23.9	28	32.2	36.5	45.6	0.4
	双向		10.4	12.6	15	17.4	19.6	24.4	28.6	33.5	38.7	43.8	54.9	0.6
除污器			174	209	249	290	327	406	477	558	645	730	915	8
单缝焊接弯头	30°	30°	3.48	4.2	5	5.8	6.5	8.1	9.5	11.2	12.9	14.6	18.3	0.2
	45°	45°	5.2	6.3	7.46	8.7	9.3	12.2	14.3	16.8	19.4	21.9	27.4	0.3
	60°	60°	12.2	14.6	17.5	20.3	22.9	28.4	33.4	39.1	45.2	51.1	64	0.7
	90°	90°	22.6	27.2	32.4	37.7	42.5	52.7	62	72.5	83.8	95	119	1.8
焊接弯头	双缝 $R=1D$	R	12.2	14.6	17.5	20.3	22.9	28.4	33.4	39.1	45.2	51.1	64	0.7
	三缝 $R=1.5D$	R	10.4	12.6	15	17.4	19.6	24.4	28.6	33.5	38.7	43.8	54.9	0.5
	四缝 $R=1D$	R	10.4	12.6	15	17.4	19.6	24.4	28.6	33.5	38.7	43.8	54.9	0.5
热压弯头 $R=1.5\sim2D$		R	8.7	10.5	12.5	14.5	16.4	20.3	23.9	28	32.3	36.5	45.6	0.5
煨弯	$R=3D$	R	6.95	8.4	9.95	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9
	$R=4D$		5.2	6.3	7.46	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3
方形补偿器	三线焊弯 $R=1D$		—	—	—	105	119	142	164	209	214	238	290	3
	三线焊弯 $R=1.5D$		53.2	63.4	74.2	92	103	124	142	162	184	205	250	2.5
	热压弯头 $R=1.5\sim2D$		46.2	55	64.2	86	93	110	126	144	162	180	216	3

续表

名称		图例	公称直径											ζ
			DN300	DN350	DN400	DN450	DN500	DN600	DN700	DN800	DN900	DN1000	DN1200	
			局部阻力当量长度（m）											
方形补偿器	煨弯 R=3D		33	39	45.2	—	—	—	—	—	—	—	—	1.7
	煨弯 R=4D		24	28	32	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0
波形补偿器	无内套		17.4	18.8	19.9	20.3	21.2	24.4	27.7	30.2	32.3	36.5	45.6	2
	有内套		1.74	2.09	2.49	2.9	3.3	4.1	4.8	5.6	6.5	7.3	9.2	0.2
分流三通	直通		17.4	20	24.9	29	32.7	40.6	47.7	55.8	64.5	73	91.5	1.0
	分支		26.1	3	37.3	43.5	49	60.9	71.6	83.7	96.7	109.5	137	1.5
汇流三通	直通		26.1	31.4	37.3	43.5	49	60.9	71.6	83.7	96.7	110	137	1.5
	分支		34.8	41.8	49.8	58	65.4	8.1	95.5	112	129	146	183	2
背向分流三通			34.8	41.8	49.8	58	65.4	81	95.5	112	129	146	183	2
对面汇流三通			52	62.7	74.6	87	98	122	143	168	194	219	274	3
异径管	A_1/A_0=2		1.74	2.09	2.49	2.9	3.3	4.1	4.8	5.6	6.5	7.3	9.2	0.1
	A_1/A_0=3		5.2	6.3	7.46	5.8	6.5	8.1	9.5	11.2	12.9	14.6	18.3	0.3
	A_1/A_0=4		8.7	10.5	12.5	8.7	9.8	12.2	14.3	16.8	19.4	21.9	27.4	0.5

注 1．闸阀带收缩口和导向筋的，乘以系数 2。
2．对无内套的波形补偿器，两波乘以 2，三波乘以 3。
3．三通管的当量长度一律算在总管上。
4．异径管的当量长度一律算在直径小的一面。
5．D 为管道直径，mm。
6．A_1 为管道直径为 D_1 对应的面积，mm^2；A_0 为管道直径为 D_0 对应的面积，mm^2。

在进行估算时，局部阻力当量长度可按管道实际长度百分比计算。

上面的公式改写如下：

$$\Delta p_j=\Sigma\zeta\frac{\rho v^2}{2}=R\alpha L \quad (10\text{-}24)$$

$$\Delta p=RL(1+\alpha) \quad (10\text{-}25)$$

式中 α——局部阻力与沿程阻力的比值，可按表 10-32 取值。

表 10-32 管道局部阻力与沿程阻力比值 α

管线类型	补偿器类型	管道公称直径	局部阻力与沿程阻力的比值	
			蒸汽管道	热水及凝结水管道
主干管	套管或波纹管补偿器（带内衬筒）	≤DN1200	0.2	0.2
	方形补偿器	DN200～DN350	0.7	0.5
		DN400～DN500	0.9	0.7
主干管	方形补偿器	DN600～DN1200	1.2	1.0
分支管	套管或波纹管补偿器（带内衬筒）	≤DN400	0.4	0.3
	套管或波纹管补偿器（带内衬筒）	DN450～DN1200	0.5	0.4
	方形补偿器	DN150～DN250	0.8	0.6
		DN300～DN350	1.0	0.8
		DN400～DN500	1.0	0.9
		DN600～DN1200	1.2	1.0

二、热水管网水力计算

（一）水力计算条件及资料

（1）地形图。

（2）管道平面图。

（3）用户和热源点的标高。

（4）热源近期和远期供热能力、供热范围、供热方式、供热介质参数。

（5）热用户近、远期热负荷及其性质。

（二）水力工况

（1）厂区供暖热水管网任何一点的压力至少应比该点热水温度的汽化压力高出 0.03～0.05MPa。

（2）厂区供暖热水管网的回水压力应小于直接连接用户系统的允许压力，且任何一点的压力不应低于 0.05MPa。

（3）厂区供暖热水管网循环水泵停止运行时，应保持必要的静水压力，静水压力应符合下列规定：

1）不应使供暖热水管网任何一点的水汽化，并应有 30～50kPa 的富裕压力；

2）与供暖热水管网直接连接的用户系统应充满水；

3）不应超过系统中任何一点的允许压力。

（4）供暖热水管网末端的供、回水压力差应满足热用户系统所需的作用压头。不同热用户的作用压头可按表 10-33 的估算值取用。

表 10-33　热水管网热用户作用压头估算表

热用户供暖系统形式	作用压头估算值（MPa）
直接连接的散热器系统	0.01～0.02
直接连接的暖风机或热风幕系统	0.02～0.05
混水器连接的供暖系统	0.08～0.12
有新风机组的供暖系统	0.05～0.06
低温热水地板辐射供暖系统	0.04～0.06

（5）开式供暖热水管网非采暖期运行时，回水压力不应低于直接配水用户热水供应系统静水压力再加上 50kPa。

（6）对供暖热水管网，应在水力计算的基础上绘制水压图。

（三）水压图

（1）水压图是表示热水管网各点压力分布的图形。在热水管网设计中，一般需要绘制水压图，用以全面地表示地形、建筑物高度、恒压点的位置等，这样能够全面、直观地反映出热水管网的水力工况，是综合分析整个供热系统压力分布的重要手段，以便采取措施，保证管网系统安全、经济地运行。

（2）通过水压图可以对热网循环水泵的选择、热用户连接方式、热用户分布压头、系统静态压力及定压点的确定起到积极作用。绘制水压图的基本参数不包括测量及控制装置的压力损失。

（3）在绘制水压图时，加热站内部的压力损失可按表 10-34 的估算值取用。

表 10-34　加热站内部压力损失估算表

加热站内部设备及管段	压力损失估算值（MPa）
循环水泵出口管段和热源内部	0.08～0.15
热源内部的除污器及除污器至循环水泵入口	0.02～0.05

（4）水压图可以按如下方法绘制：

1）通常定压点设定在回水管上时，一般以热源内部的循环水泵中心线高度为基准面，用纵坐标 y 表示标高，用横坐标 x 表示距离。

2）按热水管网上的各点和各用户，从热源出口起沿着管路计算的距离的相应点标出地面标高和建筑物高度，各地面高度的连线是管线地形的纵断面。

3）静压线是循环水泵停止运行时，管网中各点压力的连接线，它是一条水平直线。静压线高度不应超过底层散热器的承压能力并保证网路直接连接的用户系统不汽化、不倒空。静压线为建筑物最高点、地形高差、设计水温对应的汽化压力及富裕压力之和。

4）回水管网压力曲线是循环水泵运行中回水管上各点的动压连线。用户处回水干管的始端压力最高，沿程克服阻力，压力逐渐降低，到循环水泵入口处为最低。为保证水泵运行时用户系统里的水不会倒空，回水干管的总水压线必须高出所有用户的顶部 5m。

5）供水管的压力曲线是循环水泵运行中供水管上各点的压力连接线。热源处供水干管的始端压力最高，至最远用户处压力最低。其坡度可根据水力计算结果或平均比摩阻确定。

6）供水管压力曲线的位置应满足：网路供水干管内以及与网路直接连接的用户系统的供水管内任何一点都不应发生汽化；在网路上任何一点供水压力和回水压力的差额应能满足用户系统及用户入口所需要的压力，即保证用户有足够的资用压力。

（四）计算步骤

（1）根据设计流量和比摩阻，在附录 I 室外热水管网水力计算表初步选定各计算管段的管径和比摩阻。

（2）根据已选定的管径及各管道附件的类别和数量，由表 10-30 查局部阻力当量长度，并计算其总和。

（3）以各管段的实际长度和局部阻力当量长度之和，乘以比摩阻，得出该计算管段的总压力损失。

（4）从热源至某一个热用户的各计算管段的压力损失之和，得出从热源到该热用户的总压力损失。

（5）计算分支管的方法同以上计算方法，但为了保证各用户的运行工况与设计一致，仍须使并联环路间的压力平衡。但注意管内流速最好不要超过限定流速。

当并联环路的压力损失相差太大而无法平衡时，可在阻力损失小的分支管上设置调节阀、平衡阀或调压板等。

（五）热水管道水力计算表

详见附录I室外热水管网水力计算表。

（六）热水管网热水通过能力表

热水管网热水通过能力表见表10-35。

表10-35　　热水管网热水通过能力表

管径（mm）		对应于R的G值（t/h）					
公称直径	d_n	R=50Pa/m	R=100Pa/m	R=150Pa/m	R=200Pa/m	R=250Pa/m	R=300Pa/m
DN32	33	0.88	1.25	1.53	1.76	1.97	2.16
DN40	40	1.46	2.07	2.53	2.92	3.27	3.58
DN50	51	2.76	3.91	4.79	5.53	6.18	6.77
DN65	70	6.35	8.98	11.00	12.70	14.19	15.55
DN80	82	9.62	13.60	16.66	19.23	21.50	23.56
DN100	100	16.19	22.90	28.04	32.38	36.20	39.66
DN125	125	29.08	41.13	50.37	58.17	65.03	71.24
DN150	150	46.94	66.38	81.29	93.87	104.95	114.97
DN200	207	109.32	154.60	189.34	218.63	244.44	267.77
DN250	259	196.87	278.41	340.98	393.73	440.21	482.22
DN300	313	323.64	457.70	560.56	647.28	723.68	792.76
DN350	365	484.48	685.16	839.15	968.97	1083.34	1186.74
DN400	412	665.83	941.63	1153.26	1331.67	1488.85	1630.95
DN450	464	909.64	1286.43	1575.54	1819.28	2034.02	2228.15
DN500	515	1196.06	1691.49	2071.64	2392.13	2674.48	2929.74
DN600	614	1897.59	2683.59	3286.72	3795.18	4243.14	4648.12
DN700	702	2697.09	3814.26	4671.49	5394.17	6030.87	6606.49
DN800	802	3825.76	5410.44	6626.41	7651.52	8554.66	9371.16
DN900	900	5177.81	7322.54	8968.24	10355.60	11577.90	12683.00
DN1000	998	6791.69	9604.89	11763.50	13583.40	15186.70	16636.20

（七）设计举例

【例10-1】已知：假定热源点的标高为0m，定压点设在回水管处，管网供水温度为110℃，回水温度为70℃。用户1的热负荷为500kW，室内回水管标高比热源点的标高低2m，室内供回水管高差10m。用户2的热负荷为2300kW，室内回水管标高比热源点的标高高2m，室内供、回水管高差20m。用户3的热负荷为1700kW，室内回水管标高比热源点的标高高5m，室内供回水管高差15m。各用户内部阻力损失均为50kPa。管段长度如图10-17所示。

问：试进行水力计算和绘制水压图。

解　热水管网水力计算见表10-36。

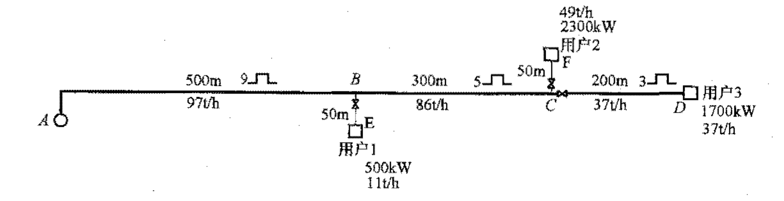


图10-17　设计案例——热水管网水力计算简图

表 10-36　　热水管网水力计算表

管段编号		流量 G (t/h)	管段长度 L (m)	局部阻力当量长度 L_{el} (m)	总当量长度 L_e (m)	管径 (m)	流速 v (m/s)	比摩阻 R (Pa/m)	管段阻力损失 Δp (kPa)
主干管	AB	97	500	88	588	DN200	0.86	39	23
	BC	86	300	55	355	DN200	0.75	31	11
	CD	37	200	54	254	DN150	0.61	31.8	8
	$\Sigma\Delta p$								42
分支管	BE	11	50	30	80	DN65	0.85	172	13.8
	CF	49	50	30	80	DN150	0.8	56	4.4

1. 最不利环路的确定

用户 3 距离热源点最远，因此，最不利管路是 $ABCD$，也就是主干管。

2. 计算水流量

先计算各用户的水流量，再计算主管的水流量。

用户 1 的水流量为

$$G=3.6\frac{Q}{c(t_g-t_h)}=3.6\times\frac{500}{4.1868\times(110-70)}=11\ (\text{t/h})$$

其他部分的流量计算方法相同，见表 10-36，同时标在图 10-17 中。

3. 比摩阻的计算

查附录 I 室外热水管网水力计算表，在允许比摩阻的范围内，查得暂定主干管各管段的管径、流速和比摩阻值。

即 AB 管段，流量为 97t/h，管径为 DN200，比摩阻 R_0=39Pa/m，流速 v_0=0.86m/s。

上述数值是水温为 100℃，密度ρ_0=958.4kg/m^3 的数值。

（1）水温为 110℃，密度ρ_g=950.6kg/m^3 时：

比摩阻为

$$R_g=(\rho_0/\rho_g)\times R_0=(958.4/950.6)\times 39$$
$$=39.32\ (\text{Pa/m})$$

流速为

$$v_g=(\rho_0/\rho_g)\times v_0=(958.4/950.6)\times 0.86$$
$$=0.867\ (\text{m/s})$$

（2）水温为 70℃，密度ρ_h=977.81kg/m^3 时：

比摩阻为

$$R_h=(\rho_0/\rho_h)\times R_0$$
$$=(958.4/977.81)\times 39=38.22\ (\text{Pa/m})$$

流速为

$$v_h=(\rho_0/\rho_h)\times v_0=(958.4/977.81)\times 0.86$$
$$=0.843\ (\text{m/s})$$

通过上述修正，比摩阻的变化范围不超过 2%，对热水管网实际工程中的影响不大，实际工程中可不修正，直接使用附录 I 中的数值。

其他段的管径、流速和比摩阻值查表方法相同，见表 10-36。

4. 主干管的阻力计算

局部阻力当量长度查表 10-30，分支处的阀门具体调节功能，按高阻力阀门计，由表 10-30 查截止阀的数据。

AB 管段包括 1 个弯头和 9 个方形补偿器，即 n_1=1，n_2=9，查表 10-30，每个弯头局部阻力当量长度 L_1=4.2m，每个方形补偿器局部阻力当量长度 L_2=9.3m。

AB 管段的局部阻力当量长度为

$$L_{el}=n_1\times L_1+n_2\times L_2=1\times 4.2+9\times 9.3=88\ (\text{m})$$

则 AB 管段总的当量长度为

$$L_e=L+L_{el}=500+88=588\ (\text{m})$$

AB 管段的压力损失为

$$\Delta p_{AB}=R_0\times L_e=39\times 588=22932(\text{Pa})\approx 23\text{kPa}$$

BC 管段包括 1 个直流三通和 5 个方形补偿器，即 n_1=1，n_2=5，查表 10-30，每个直流三通局部阻力当量长度 L_1=8.4m，每个方形补偿器局部阻力当量长度 L_2=9.3m。

BC 管段的局部阻力当量长度为

$$L_{el}=n_1\times L_1+n_2\times L_2=1\times 8.4+5\times 9.3=55\ (\text{m})$$

CD 管段包括 1 个直流三通 n_1=1、1 个 DN200/DN150 变径管 n_2=1、1 个阀门 n_3=1 和 3 个方形补偿器 n_4=3，查表 10-30，每个直流三通局部阻力当量长度 L_1=8.4m，每个 DN200/DN150 变径管局部阻力当量长度 L_2=1.68m，每个阀门局部阻力当量长度 L_3=24.6m，每个方形补偿器局部阻力当量长度 L_4=6.5m。

CD 管段的局部阻力当量长度为

$$L_{el}=n_1\times L_1+n_2\times L_2+n_3\times L_3+n_4\times L_4=1\times 8.4+1\times 1.68$$
$$+1\times 24.6+3\times 6.5=54\ (\text{m})$$

同理，计算 BC 管段和 CD 管段的压力损失，汇总于表 10-36。

5. 分支管计算

BE 管段的资用压力差为

$$\Delta p_{BEZ}=\Delta p_{BC}+\Delta p_{CD}=11+8=19\ (\text{kPa})$$

计算估计比摩阻，按表 10-29，设 α=0.6，则

$$R_{BE}=\frac{\Delta p_{BE}}{L\times(1+\alpha)}=\frac{19\times 10^3}{50\times(1+0.6)}=608\ (\text{Pa/m})$$

估算的比摩阻太大，按比摩阻不大于 300～400Pa/m 的原则，查附录 I 室外热水管道水力计算表，流量为 11t/h，管径 DN65，对应比摩阻为 172Pa/m，流速为 0.85m/s。

BE 管段总的压力损失为

$$\Delta p_{BE}=RL(1+\alpha)=172\times50\times(1+0.6)=13.8\text{（kPa）}$$

BE 管段多余的压力为

$$\Delta p=\Delta p_{BEZ}-\Delta p_{BE}=19-13.8=5.2\text{（kPa）}$$

此多余的压力靠分支处的阀门或热用户入口的节流装置消耗掉，如平衡阀、节流孔板、手动流量调节阀等。

CF 管段的资用压力差为

$$\Delta p_{CF}=\Delta p_{CD}=8\text{（kPa）}$$

计算估计比摩阻，设 α=0.6，则

$$R_{CF}=\frac{\Delta p_{CF}}{L\times(1+\alpha)}=\frac{8\times10^3}{50\times(1+0.6)}=100\text{（Pa/m）}$$

根据比摩阻 100Pa/m 和流量 49t/h，可查附录 J，管径为 DN150，对应的比摩阻为 56Pa/m，流速为 0.8m/s。

CF 管段总的压力损失为

$$\Delta p=RL(1+\alpha)=55\times50\times(1+0.6)=4.4\text{（kPa）}$$

多余压力的消耗方法同 *BE* 管段。

6. 绘制水压图

根据表 10-34，循环水泵出口管段和热源内部压力损失为 0.08～0.15MPa，取 120kPa，即图 10-18 中的 *MA* 段，热源内部的除污器及除污器至循环水泵入口压力损失为 0.02～0.05MPa，取 50kPa，即图 10-18 中的 *NA′*段。

静水压线的确定，110℃水的汽化压力为 76kPa，管网最高点压力为 220kPa［2+20=22（mH_2O）］，富裕压头取 50kPa，则静水压线为 76+220+50=346（kPa）。为保证各用户不会出现汽化和倒空现象，静水压线不低于 346kPa。

平面图的各管段要拉直，热水管网水压图见图 10-18。

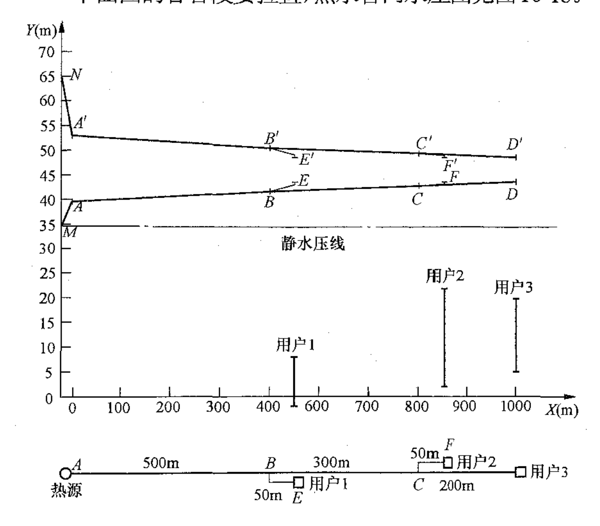


图 10-18　设计案例——热水管网水压图

当用户内部阻力损失大于资用压头时，如图 10-18 中的 *E* 点高于 *E′*点，需要调大 *BE* 段的管径，降低比摩阻。

三、蒸汽管道水力计算

（一）概述

蒸汽管道水力计算的特点是在计算压力损失时，应考虑蒸汽密度的变化。在设计中，为了简化计算，蒸汽密度采用平均密度，即以管段的起点和终点密度的平均值作为该管段的计算密度。

蒸汽管网应根据管网起点压力和用户需要压力来确定允许比摩阻，并选择管径。

1. 沿程摩擦阻力计算

编制附录 J 室外蒸汽管道水力计算表时，取蒸汽密度 $\rho=1kg/m^3$。当计算管段的平均密度不等于 $1kg/m^3$ 时，可按式（10-26）、式（10-27）对比摩阻及流速进行换算，即

$$R_{re}=\left[\frac{\rho}{\rho_{re}}\right]R \tag{10-26}$$

$$v_{re}=\left[\frac{\rho}{\rho_{re}}\right]v \tag{10-27}$$

式中　ρ_{re}、R_{re}、v_{re}——水力计算中蒸汽的实际密度、比摩阻及流速值；

ρ——制表时蒸汽的密度；

R、v——在附录 J 中查出的比摩阻及流速值。

2. 局部阻力损失计算

局部阻力损失可按当量长度计算。

（二）计算步骤

（1）确定各管段的流量。

（2）绘制蒸汽管网平面图，并在图中注明所有管道附件如补偿器、阀门的数量及其型号、管道长度等。

（3）确定主干管的平均比摩阻，即

$$R_{av}=\frac{\Delta p}{\Sigma L(1+a)} \tag{10-28}$$

式中　Δp——管网始端和终端的蒸汽压力差，Pa；

ΣL——主干线总长，m；

a——局部阻力当量长度百分比，查表 10-32。

（4）按主干线上压力损失均匀分布来假定管段末端压力，即

$$p_{en}=p_{st}-\frac{\Delta p}{\Sigma L}L_c \tag{10-29}$$

式中　p_{en}、p_{st}——管段的终端、始端蒸汽压力，Pa；

L_c——计算管段的长度，m。

（5）计算管段中蒸汽的平均密度，即

$$\rho_{av}=\frac{\rho_{st}+\rho_{en}}{2} \tag{10-30}$$

式中　ρ_{av}——管段中蒸汽的平均密度，kg/m^3；

ρ_{st}、ρ_{en} ——管段中蒸汽的始端、终端密度，kg/m^3。

（6）将平均比摩阻按式（10-26）换算成附录 J 用比摩阻。

（7）根据各管段的流量，用比摩阻查附录 J 选定合适的管径，从而得出对应于选定管径情况下的比摩阻及流速。

（8）将用附录 J 查出的比摩阻、流速再换算成实际条件下的比摩阻及流速。

（9）检查管内流速是否超过限定流速。

（10）根据已选定的管径，查表 10-31 得出局部阻力当量长度 L_{el}，再确定管段的当量长度 L_e，则

$$L_e=L+L_{el} \quad (10\text{-}31)$$

（11）计算管段阻力损失及主干线总阻力损失。各管段阻力损失为 $R_{re}L_e$，主干线总阻力损失应为各管段阻力损失总和，即

$$\Delta p=\Sigma R_{re}L_e \quad (10\text{-}32)$$

（12）校验计算：求出管段实际的末端压力与蒸汽密度，与假定值进行对比，即

$$p_{en}=p_{st}-R_{re}L_e \quad (10\text{-}33)$$

（13）根据分支节点压力选择并联支管的管径，方法同上，重复（5）～（12）。

（三）蒸汽管道计算表

（1）饱和蒸汽和过热蒸汽的密度见表 10-37。

表 10-37　　饱和蒸汽和过热蒸汽的密度表

压力（MPa）	饱和温度（℃）	在一定温度下蒸汽的密度 ρ（kg/m^3）												
		t_s	120	130	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260
0.20	119.6	1.10	1.11	1.08	1.05	1.02	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.87	0.83	
0.22	122.7	1.21		1.19	1.16	1.13	1.10	1.07	1.05	1.02	1.00	0.96	0.92	
0.24	125.5	1.32		1.30	1.27	1.23	1.20	1.17	1.14	1.12	1.08	1.05	1.00	
0.26	128.1	1.42		1.41	1.37	1.34	1.30	1.27	1.24	1.21	1.19	1.13	1.09	
0.28	130.6	1.52			1.48	1.44	1.41	1.37	1.34	1.31	1.28	1.22	1.17	
0.30	132.9	1.62			1.59	1.55	1.51	1.47	1.43	1.40	1.37	1.31	1.26	
0.32	135.1	1.72			1.70	1.65	1.61	1.57	1.53	1.50	1.46	1.40	1.34	
0.34	137.2	1.82			1.81	1.76	1.71	1.67	1.63	1.59	1.56	1.49	1.43	
0.36	139.2	1.93			1.92	1.87	1.81	1.77	1.73	1.69	1.65	1.58	1.51	
0.38	141.1	2.03				1.97	1.92	1.87	1.83	1.78	1.74	1.67	1.60	
0.40	142.9	2.13				2.08	2.03	1.98	1.92	1.88	1.83	1.75	1.68	
0.45	147.2	2.37				2.35	2.29	2.23	2.17	2.12	2.07	1.98	1.90	1.82
0.50	151.1	2.62					2.55	2.49	2.42	2.36	2.31	2.20	2.11	2.03
0.55	154.7	2.87					2.83	2.75	2.68	2.61	2.55	2.44	2.33	2.23
0.60	158.1	3.11					3.09	3.01	2.93	2.85	2.78	2.66	2.54	2.44
0.65	161.2	3.36						3.27	3.19	3.11	3.03	2.89	2.77	2.65
0.70	164.2	3.59						3.54	3.44	3.35	3.27	3.11	2.98	2.86
0.75	167	3.84						3.81	3.70	3.60	3.51	3.35	3.20	3.06
0.80	169.6	4.09						4.08	3.96	3.86	3.76	3.58	3.42	3.28
0.85	172.1	4.33							4.23	4.12	4.0	3.82	3.64	3.49
0.90	174.5	4.57							4.49	4.37	4.25	4.04	3.86	3.70
0.95	176.9	4.71							4.77	4.63	4.5	4.28	4.08	3.91
1.0	179	5.05							5.04	4.89	4.75	4.52	4.31	4.12
1.1	183.2	5.58								5.42	5.26	5.0	4.76	4.55
1.2	187.1	6.01								5.96	5.78	5.47	5.22	4.98

续表

压力（MPa）	饱和温度（℃）	在一定温度下蒸汽的密度 ρ（kg/m^3）											
		t_s	120	130	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260
1.3	190	6.40									6.32	5.96	5.67	5.41
1.4	194.1	6.97									6.85	6.46	6.14	5.85
1.5	197.4	7.49									7.39	6.96	6.60	6.30
1.6	200.4	7.93										7.47	7.08	6.74
1.7	203.4	8.41										7.99	7.55	7.19
1.8	206.1	8.89										8.50	8.04	7.64
1.9	208.8	9.37										9.04	8.53	8.10
2.0	211.4	9.85										9.58	9.02	8.56
2.1	213.9	10.33										10.15	9.52	9.02
2.2	216.2	10.8										10.70	10.20	9.51
2.3	218.5	11.3										11.28	10.59	9.95
2.4	220.8	11.78											11.00	10.44
2.5	222.9	12.27											11.58	10.93

（2）蒸汽管道通过能力见表10-38。

表10-38　　蒸汽管道通过能力表

公称直径	蒸汽参数：p（MPa），t（℃），ρ（kg/m^3）；通过能力：G（t/h）										
	p=0.4 $t=t_s$ ρ=2.62	p=0.5 $t=t_s$ ρ=3.11	p=0.6 $t=t_s$ ρ=3.59	p=0.7 $t=t_s$ ρ=4.09	p=0.8 $t=t_s$ ρ=4.57	p=0.8 t=250 ρ=3.78	p=1.1 $t=t_s$ ρ=6.01	p=1.1 t=300 ρ=4.58	p=1.3 t=250 ρ=6.0	p=1.3 t=350 ρ=4.93	p=1.1 $t=t_s$ ρ=6.97
DN25	0.048	0.052	0.056		0.063	0.057	0.072	0.063	0.072	0.065	0.078
DN32	0.081	0.088	0.095	0.101	0.108	0.098	0.123	0.108	0.123	0.111	0.133
DN40	0.136	0.148	0.156	0.166	0.177	0.161	0.206	0.178	0.206	0.187	0.219
DN50	0.246	0.268	0.288	0.308	0.324	0.295	0.372	0.325	0.372	0.337	0.4
DN65	0.51	0.555	0.598	0.638	0.675	0.614	0.774	0.675	0.774	0.7	0.834
DN80	0.91	0.99	1.06	1.13	1.20	1.09	1.37	1.2	1.37	1.24	1.48
DN100	1.53	1.67	1.79	1.91	2.02	1.83	2.31	2.02	2.31	2.09	2.49
DN125	2.74	2.98	3.2	3.42	3.62	3.28	4.15	3.62	4.14	3.74	4.46
DN150	4.44	4.84	5.19	5.54	5.85	5.33	6.71	5.86	6.71	6.06	7.24
DN200	10.3	11.2	12.1	12.9	13.6	12.4	15.6	13.7	15.6	14.1	16.9
DN250	18.8	20.5	22	23.5	24.7	22.5	28.4	24.8	28.4	25.6	30.6
DN300	29.6	32.2	34.6	37	38.9	35.4	44.7	39	44.6	40.4	48.1
DN350	43.5	47.5	51	54.5	57.5	52.3	66.9	57.5	65.8	59.5	71
DN400	61	66.5	71.5	76.3	80.6	73.5	92.5	80.7	92.5	83.6	99.6

注　t_s为饱和温度，Ra=0.2mm，压力损失为0.2MPa/km，管路采用方形补偿器，局部阻力当量长度为0.51L。

（四）设计举例

【例10-2】　已知：假定蒸汽管网始端为0.3MPa（表压）的饱和蒸汽。用户1的热负荷为500kW，用户2的热负荷为2300kW，用户3的热负荷为1700kW。

管段长度如图 10-19 所示。问：试确定管网管径。

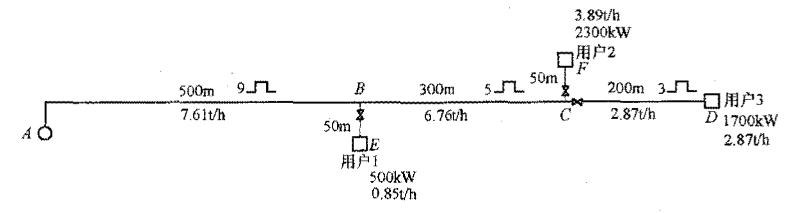


图 10-19　设计案例——蒸汽管网水力计算简图

解

（1）计算流量。先计算各用户的流量，再计算主管的流量。

0.3MPa（表压）饱和蒸汽的汽化潜热 r =2130kJ/kg，用户 1 的流量为

$$G=\frac{3.6\Sigma Q_{\max}K}{r}=\frac{3.6\times500\times1}{2130}=0.85\text{（t/h）}$$

其他部分的流量计算方法相同，见汇总表 10-39，同时标在图 10-19 中。

表 10-39　　室外蒸汽管网水力计算表

管段编号	蒸汽流量 G（t/h）	管段长度 L（m）	假定计算			管段选择计算		
			蒸汽始端压力（MPa）	蒸汽末端压力（MPa）	蒸汽平均密度（kg/m³）	平均比摩阻（Pa/m）	管径（mm）	附录J中比摩阻（Pa/m）
AB	7.61	500	0.3	0.25	2	133	ϕ219×6	185.7
BC	6.76	300	0.24	0.21	1.75	117	ϕ219×6	150.1
CD	2.87	200	0.206	0.186	1.6	107	ϕ159×4.5	145
BE	0.85	50	0.24	0.18	1.67	111	ϕ89×3.5	226
CF	3.89	50	0.206	0.18	1.59	106	ϕ159×4.5	263
CF	3.89	50	0.206	0.18	1.59	106	ϕ219×6	51

管段编号	管段选择计算						校验计算		
	附录J中流速（m/s）	实际比摩阻（Pa/m）	实际流速（m/s）	局部阻力当量长度 L_{el}（m）	总当量长度 L_e（m）	管段阻力损失 Δp（kPa）	蒸汽始端压力（MPa）	蒸汽末端压力（MPa）	蒸汽平均密度（kg/m³）
AB	62.8	93	31.4	151	651	0.06	0.3	0.24	1.98
BC	56	85.8	32	91.5	392	0.034	0.24	0.206	1.74
CD	46	91	29	74.5	275	0.025	0.206	0.181	1.59
BE	30	135	18	25	75	0.01	0.24	0.23	1.8
CF	61	165	38（超了）	25	75	0.012	0.206	0.194	1.62
CF	32	32	20	25	75	0.002	0.206	0.204	1.64

（2）主干管 *AD* 段的平均比摩阻。管网长 1000m，假定管网末端为 0.2MPa（表压）的饱和蒸汽，局部阻力当量长度百分比暂按 0.5 取，则

$$R_{av}=\frac{\Delta p}{\Sigma L(1+\alpha)}=\frac{(0.3-0.2)\times10^6}{(500+300+200)\times(1+0.5)}$$
$$=66.7\text{（Pa/m）}$$

（3）*AB* 管段。*AB* 管段末端压力为

$$p_{en}=p_{st}-\frac{\Delta p}{\Sigma L}L_c=0.3\times10^6-\frac{(0.3-0.2)\times10^6}{(500+300+200)}\times500$$
$$=0.25\times10^6\text{（Pa）}$$

查表 10-37，*AB* 管段的起端压力为 0.3MPa 饱和蒸汽，密度 ρ_{st}=2.13kg/m³；

AB 管段的末端压力为 0.25MPa 饱和蒸汽，密度 ρ_{en}=1.87kg/m³；

AB 管段的蒸汽平均密度为

$$\rho_{av}=\frac{\rho_{st}+\rho_{en}}{2}=(2.13+1.87)/2=2\text{（kg/m}^3\text{）}$$

AB 管段的蒸汽平均比摩阻换算成查附录J用比摩阻，则

$$R=\left[\frac{\rho_{av}}{\rho}\right]R_{av}=\text{（2/1）}\times66.7=133.4\text{（Pa/m）}$$

用查表用平均比摩阻 133.4Pa/m 和流量查附录 J 室外蒸汽管道水力计算表得管径 ϕ219×6mm，R=185.7Pa/m，流速 v=62.8m/s，换算成实际的比摩阻和流速为

$$R_{re}=\left[\frac{\rho}{\rho_{av}}\right]R=(1/2)\times185.7=93\text{（Pa/m）}$$

$$v_{re}=\left[\frac{\rho}{\rho_{av}}\right]v=(1/2)\times62.8=31.4\text{（m/s）}$$

蒸汽流速未超过表 10-29 的管道允许最大流速。

局部阻力当量长度查表 10-31，分支处的阀门具体调节功能，按高阻力阀门计，查截止阀的数据。

AB 管段包括 1 个弯头和 9 个方形补偿器，即 n_1=1，n_2=9，查表 10-31，每个弯头局部阻力当量长度 L_1=5.25m，每个方形补偿器局部阻力当量长度 L_2=16.2m；

AB 管段局部阻力当量长度为

$$L_{el}=n_1\times L_1+n_2\times L_2=1\times5.25+9\times16.2=151\text{（m）}$$

则 AB 管段总当量长度为

$$L_e=L+L_{el}=500+151=651\text{（m）}$$

AB 管段总压力损失 $\Delta p_{AB}=R_0\times L_e=93\times651=60543$（Pa）=0.06MPa

AB 管段的末端压力为

$$p_{en}=p_{st}-\Delta p_{AB}=0.3-0.06=0.24\text{（MPa）}$$

AB 管段的末端压力为 0.24MPa 饱和蒸汽，密度为 1.82kg/m^3，管段的蒸汽平均密度为

$$\rho_{av}=\frac{\rho_{st}+\rho_{en}}{2}=(2.13+1.82)/2=1.98\text{（kg/m}^3\text{）}$$

将上述结果列于汇总表 10-39 中。

（4）BC 管段。

BC 管段始端压力为 0.24MPa，计算方法及步骤与 AB 管段相同。

BC 管段包括 1 个直流三通和 5 个方形补偿器，即 n_1=1，n_2=5，查表 10-31，每个直流三通局部阻力当量长度 L_1=10.5m，每个方形补偿器局部阻力当量长度 L_2=16.2m。

BC 管段局部阻力当量长度为

$$L_{el}=n_1\times L_1+n_2\times L_2=1\times10.5+5\times16.2=91.5\text{（m）}$$

将计算结果列于汇总表 10-39 中。

（5）CD 管段。CD 管段始端压力为 0.206MPa，计算方法及步骤与 AB 管段相同。

CD 管段包括 1 个直流三通 n_1=1、1 个 DN200/DN150 变径管 n_2=1、1 个阀门 n_3=1 和 3 个方形补偿器 n_4=3，查表 10-31，每个直流三通局部阻力当量长度 L_1=6.9m，每个 DN200/DN150 变径管局部阻力当量长度 L_2=2.07m，每个阀门局部阻力当量长度 L_3=30.4m，每个方形补偿器局部阻力当量长度 L_4=11.7m。

CD 管段局部阻力当量长度为

$$L_{el}=n_1\times L_1+n_2\times L_2+n_3\times L_3+n_4\times L_4$$
$$=1\times6.9+1\times2.07+1\times30.4+3\times11.7$$
$$=74.5\text{（m）}$$

将计算结果列于汇总表 10-39 中。

（6）主干路至用户 3 的压力为 0.18MPa 饱和蒸汽，对应的饱和温度为 130℃，如想提高末端的蒸汽压力，可以加大主干路的管径，降低比摩阻，减少管路阻力损失实现。

如果计算的末端压力高于要求的压力值，则通过分支处的阀门或热用户入口的节流装置消耗掉，如节流孔板、截止阀、手动流量调节阀等。

（7）计算分支管线。计算步骤同上。

从表 10-39 中可以看出：

BE 管段，多余的压力靠分支处的阀门或热用户入口的节流装置消耗掉，如节流孔板、截止阀、手动流量调节阀等。

CF 管段，如果管径选 ϕ159×4.5mm，因为流速超过限值，所以加大管径，多余的压力在热用户入口的节流装置消耗掉。

四、凝结水管道水力计算

（一）高压凝结水管的分类

由于凝结水在凝结水管道的各管段中的物理状态及其流动性质不同，凝结水管道水力计算方法也有所不同。

凝结水管系统示意如图 10-20 所示。

图 10-20 中 AB 管段按两相非满管流考虑，BC 管段按乳状汽水混合物的满管流考虑，也称余压凝结水管路，CD 和 DE 管道按满管流考虑。

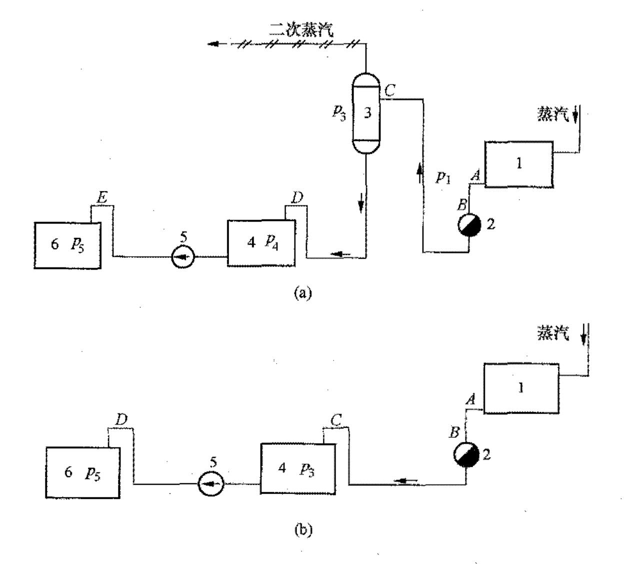


图 10-20 凝结水管道系统示意图

（a）开式凝结水回收系统；（b）闭式凝结水回收系统

1—用热设备；2—疏水器；3—二次蒸发箱；4—凝结水箱；5—凝结水泵；6—总凝结水箱

1. 满管流动管

满管流动管中流动的是纯凝结水的单相满管流动，流动状态和规律与热水管道完全一样，可按本节热水管道的计算方法确定管径。

2. 非满管流动管

非满管流动管的管道断面不完全充满凝结水或均匀分布着汽水混合物，凝结水和蒸汽交替充塞，蒸汽与凝结水分层或分段流动的两相非满管流动。其管径与室内高压蒸汽采暖系统凝结水管确定方法相同，即根据热负荷查附录 D 中表 D-5～表 D-7。

3. 两相满管流管

两相满管流是被乳状汽水混合物充满的两相满管流动管。管道须根据水力计算结果确定管径。流体在管内流动规律认为与满管流管路相同，但应根据式（10-26）、式（10-27）对比摩阻及流速进行换算。

（二）两相满管流密度

在水力计算前应首先确定汽水混合物的密度，即

$$\rho_{cm}=\frac{1}{v_{cm}}=\frac{1}{xv_s+(1-x)v_w} \qquad (10\text{-}34)$$

$$x=x_1=x_2 \qquad (10\text{-}35)$$

$$x_2=\frac{h_1-h_3}{r_3} \qquad (10\text{-}36)$$

式中 ρ_{cm}——乳状汽水混合物的密度，kg/m³；

v_{cm}——乳状汽水混合物的比体积，m³/kg；

v_s——二次蒸发箱或凝结水箱压力的饱和蒸汽比体积，m³/kg；

v_w——二次蒸发箱或凝结水箱压力下的凝结水的比体积，m³/kg；

x——1kg 汽水乳状混合物中含有的蒸汽质量百分数，即湿蒸汽的干度，%；

x_1——疏水器的漏汽量，因疏水器的种类和工作条件而异，一般采用 0～5%；

x_2——凝结水通过疏水器和管道时由于压力下降而产生的二次蒸汽量，%；

h_1——疏水器前压力 p_1 下饱和凝结水的焓，kJ/kg；

h_3——二次蒸发箱或凝结水箱压力 p_3 下的饱和凝结水的焓，kJ/kg；

r_3——二次蒸发箱或凝结水箱压力 p_3 下的蒸汽汽化潜热，kJ/kg。

当疏水器前压力 p_1 和二次蒸发箱压力 p_3 已知时，x_2 可通过表 10-40 查得，ρ_{cm} 通过表 10-41 查得。

表 10-40　二次蒸发汽数量 x_2

始端压力 p_{st}（×10⁵Pa，绝对压力）	末端压力 p_{en}（×10⁵Pa，绝对压力）										
	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
1.2	0.01										
1.5	0.022	0.012	0.004								
2	0.039	0.029	0.021	0.013	0.006						
2.5	0.052	0.043	0.034	0.027	0.02	0.014					
3	0.064	0.054	0.046	0.039	0.032	0.026					
3.5	0.074	0.064	0.056	0.049	0.042	0.036	0.01				
4	0.083	0.073	0.065	0.058	0.051	0.045	0.02				
5	0.093	0.089	0.081	0.074	0.067	0.061	0.036	0.017			
8	0.134	0.125	0.117	0.11	0.104	0.098	0.073	0.054	0.038	0.024	0.012
10	0.152	0.143	0.136	0.129	0.122	0.117	0.093	0.074	0.058	0.044	0.032
15	0.188	0.18	0.172	0.165	0.161	0.154	0.13	0.112	0.096	0.083	0.071

表 10-41　汽水混合物密度 ρ_{cm}

凝结水末端压力 p_{en}（×10⁵Pa，绝对压力）	汽水混合物中所含蒸汽的质量百分数 x						
	0.01	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
1.0	54.8	28.2	11.5	5.8	3.9	2.9	2.3
1.2	64	33.2	13.6	6.8	4.6	3.4	2.7
1.4	73.3	38.1	15.6	7.9	5.3	4.0	3.2

续表

凝结水末端压力 p_{en}（×10⁵Pa，绝对压力）	汽水混合物中所含蒸汽的质量百分数 x						
	0.01	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
1.6	82.3	43.0	17.6	8.9	5.97	4.5	3.6
1.8	91	47.8	19.3	10	6.7	5	4.9
2.0	99.3	52.4	21.7	11	7.4	5.5	4.4
7.0	258	151	66.9	34.8	23.5	17.7	14.2

（三）凝结水管道设计原则

（1）余压回收系统的凝结水管道设计应符合下列要求：

1）应按汽水混合状态选择凝结水管径。

2）应保证各用户疏水器的压差大于疏水器性能规定的最小压差值。

3）不同环段凝结水汇流点的压力应取得平衡。

（2）加压回收的凝结水系统宜选用闭式凝结水回收装置，其选型和布置应满足下列要求：

1）根据全厂蒸汽供暖建筑物及热负荷的分布情况，合理布置凝结水回收装置。

2）每个凝结水回收装置内应设闭式凝结水箱，其有效容积宜按10～20min的最大凝结水量计算。

3）每个凝结水回收装置应设2台凝结水泵，其中1台运行，1台备用。凝结水泵的流量应大于本系统最大小时凝结水量的1.1～1.2倍，扬程应包括管网阻力与凝结水泵站到主厂房总凝结水箱进水管口的标高差之和，并应留有0.03～0.05MPa的裕量。

4）凝结水泵的适用温度应满足吸入口可能达到的最高水温的要求。

5）凝结水泵宜采用液位信号器自动控制启停，高水位时自动开泵，低水位时自动停泵，并应设有手动启停的措施。

6）凝结水泵吸入口的压力应比吸入口可能达到的最高水温下的饱和蒸汽压力高50kPa。

（四）凝结水管道流量计算

在进行凝结水管道水力计算，确定管径时，不同的凝结水回水管段流量的计算可按如下方法进行。

1. 余压回收系统的凝结水管道的计算流量

（1）分支管线的设计流量应等于所担负用户的蒸汽管道设计流量乘以该用户凝结水回收率。

（2）主干管线的流量应等于各分支流量之和。

（3）余压凝结水管道流量为

$$G=G_{max} \tag{10-37}$$

式中 G——余压凝结水管道流量，t/h；

G_{max}——最大凝结水量，t/h。

2. 开式高位水箱重力自流凝结水管道

$$G=1.5G_{max} \tag{10-38}$$

3. 加压回收系统的凝结水管道的流量

（1）分支管线的设计流量等于所担负用户的凝结水泵流量。

（2）主干管线的设计流量等于各分站凝结水泵流量之和。

（3）压力凝结水管道

$$G=KG_{max} \tag{10-39}$$

式中 K——凝结水泵运行间歇系数，一般取2。

4. 低压自流凝结水管道

低压自流凝结水设计流量按凝结水量的1.5倍选取。

（五）凝结水管道水力计算方法

（1）压力凝结水管道的设计比摩阻可采用50～100Pa/m。

（2）凝结水管网的水力计算方法与热水管网相同，但起始点为各用户，终点为热源。其终点热源处应有50～100kPa余压，以此反算至各用户，确定其起始点压力。

（3）当进行详细计算时，可利用单位比摩阻R，其值可查附录K室外凝结水管道水力计算表。

（4）对概略计算的压力凝结水管道，可查凝结水管道通过能力表10-42。

表10-42　凝结水管道通过能力

公称直径	单位摩擦阻力损失R（Pa/m）			
	50	100	150	200
DN25	0.41	0.58	0.72	0.83
DN32	0.71	1.02	1.24	1.42
DN40	1.2	1.7	2.07	2.4
DN50	2.2	3.1	3.8	4.4
DN65	4.7	6.6	8.1	9.4
DN80	8.2	11.5	14	16.5
DN100	14	20	24	28
DN125	25	36	44	51
DN150	41	58	72	82
DN175	72	100	125	140
DN200	98	135	165	195
DN250	180	250	310	350
DN300	280	400	500	560
DN350	420	590	720	840
DN400	610	860	1050	1220
DN450	820	1180	1450	1650
DN500	1100	1550	1900	2200

（六）设计举例

【例10-3】 已知：计算如图10-21所示的凝结水回收，按加压系统回收。用户1的凝结水经泵输送到用户2，用户2的凝结水经泵输送到用户3，用户3的凝结水经泵输送到热源。用户1的热负荷为500kW，用户2的热负荷为2300kW，用户3的热负荷为1700kW。管段长度标在图10-21中。

问：试确定管网管径。

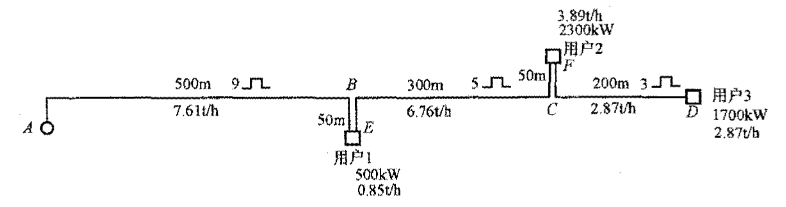


图 10-21　凝结水管网水力计算简图

解

1. 计算流量

按蒸汽管网计算的流量，且全部回收计算，不考虑损耗。其他部分的流量计算方法相同，标在图 10-21 中。

2. 用户 3 至用户 2（*D-C-F* 段）

根据流量 2.87t/h 和允许比摩阻，查附录 K 室外凝结水管道水力计算表，得管径为ϕ57×3mm，比摩阻 R=84Pa/m，流速 v=0.22m/s。

此段管网的阻力损失为

$\Delta p=RL(1+a)=84\times(200+50)\times(1+0.5)=31.5$（kPa）

至用户 2 处应有 50～100kPa 余压（即富裕压头），以此来计算用户 3 的凝结水泵选型。

3. 用户 2 至用户 1（*F-C-B-E* 段）

根据流量 6.76t/h 和允许比摩阻，查附录 K 室外凝结水管道水力计算表，得管径为ϕ76×3mm，比摩阻 R=82Pa/m，流速 v=0.53m/s。

此段管网的阻力损失为

$\Delta p= RL(1+a)=82\times(300+50+50)\times(1+0.5)=49$（kPa）

至用户 1 处应有 50～100kPa 余压（即富裕压头），以此来计算用户 2 的凝结水泵选型。

4. 用户 1 至热源（*E-B-A* 段）

根据流量 7.61t/h 和允许比摩阻，查附录 K 室外凝结水管道水力计算表，得管径为ϕ89×3.5mm，比摩阻 R=42Pa/m，流速 v=0.42m/s。

此段管网的阻力损失为

$\Delta p=RL(1+a)=42\times(500+50)\times(1+0.5)=35$（kPa）

至热源应有 50～100kPa 余压（即富裕压头），以此来计算用户 1 的凝结水泵选型。

第三节　供冷管网水力计算

一、供冷管道设计原则

（1）冷水网按供水温度分两类。

第一类：仅夏季运行，供/回水温度一般为 7/12℃。

第二类：冬夏两季均运行，夏季运行时，供/回水温度为 7/12℃；冬季运行时，供/回水温度应符合热源参数，一般为 60/50℃。

（2）冷水管网应按设计最高日冷负荷逐时曲线叠加得出的最大冷负荷计算设计流量。

（3）对于冬季供热、夏季供冷的管网，管网设计流量应取冬、夏两季计算流量中的较大值。管道强度、应力验算以及热补偿应按冬季热水网的工况计算，供热水的温度宜按 65℃计算。

（4）仅夏季运行的冷水管网不考虑热补偿问题，不设固定支架。

（5）冷水管网与各用户之间宜采用直接连接。入口处安装的水力平衡调节装置应根据冷水管网调节方式和特点选型。当冷水管网定流量运行时，宜选择自力式流量控制阀；变流量运行时，宜选择自力式差压控制阀。

（6）空调冷水管网的设计应保证系统运行时压力符合下列规定：

1）系统中任何一点的压力不应超过设备、管道及管件的允许压力。

2）系统中任何一点压力不应低于 10kPa。

3）循环水泵吸入口压力不应低于 50kPa。

（7）空调冷水管网停止运行时，系统的静水压力线应符合下列规定：

1）静水压力线应高出冷水系统设备或管道最高点 1～2m。

2）系统最低点的设备和管道不应超压。

（8）钢制空调冷水管道内壁粗糙度应取 0.5mm。

二、水力计算方法

（一）设计流量

冷水管网设计流量计算式为

$$G_L=3.6\frac{Q_L}{c(t_1-t_2)\rho} \qquad (10\text{-}40)$$

式中　G_L——冷水管网设计流量，m³/h；

Q_L——空调冷负荷，kW；

c——水的比热容，取 4.1868kJ/（kg・℃）；

t_1/t_2——冷水网供/回水温度，一般取 7℃/12℃；

ρ——水的密度，kg/m³。

注意：对于冬、夏两季运行的冷网，还应再计算一下冬季工况的流量。

（二）允许流速

进行水力计算时，冷水管网的允许流速应符合下列规定：

（1）管道公称直径小于 250mm 时，允许流速为 1.5～2.0m/s。

（2）管道公称直径大于或等于 250mm 时，允许流速为 2.0～2.5m/s。

（3）管道流速的限制：

1）公称直径不超过 32mm 时，管道流速不超过 1.2m/s；

2）公称直径为 32～65mm 时，管道流速不超过 1.5m/s；

3）公称直径超过 65mm 时，管道流速不超过 2.5m/s。

（三）管的公称直径计算公式

管的公称直径计算式为

$$DN=18.8\sqrt{G_L/v} \quad (10\text{-}41)$$

式中 DN——管的公称直径，mm；

G_L——冷水流量，m^3/h；

v——允许流速，m/s。

（四）直管段的沿程阻力损失

直管段的沿程阻力损失计算式为

$$\Delta p_f=L\times R/1000 \quad (10\text{-}42)$$

式中 Δp_f——直管段的沿程阻力损失，kPa；

L——计算管段长度，m；

R——单位长度管段的沿程阻力损失，可按表 10-43 取值，Pa/m。

表 10-43　冷网管道管径选择表

水流量（m^3/h）	水泵吸水管			水泵压出水管		
	公称直径	v（m/s）	R（Pa/m）	公称直径	v（m/s）	R（Pa/m）
30	DN100	0.96	190	DN100	0.96	190
40	DN125	0.83	110	DN125	0.83	110
50	DN125	1.05	172	DN125	1.05	172
60	DN150	0.9	102	DN125	1.28	250
70	DN150	1.15	172	DN150	1.15	172
80	DN150	1.19	172	DN150	1.19	172
90	DN150	1.32	212	DN150	1.32	212
100	DN200	0.91	176	DN150	1.48	266
150	DN200	1.37	164	DN200	1.37	164
200	DN225	1.42	151	DN200	1.82	291
250	DN250	1.4	127	DN225	1.78	236
300	DN250	1.6	178	DN250	1.68	182
350	DN300	1.33	88.4	DN250	1.96	248
400	DN300	1.53	118	DN250	2.2	312
450	DN300	1.72	156	DN300	1.72	156
500	DN325	1.63	120	DN300	1.92	184
550	DN325	1.79	144	DN300	2.08	217
600	DN350	1.68	115	DN325	1.95	172

（五）管径选择表（用于钢管）

已知设计流量及管道允许流速，可直接从表 10-43 中选择管径和沿程阻力损失 R。

（六）局部阻力损失

各管段局部阻力损失计算公式为

$$\Delta p_l=\zeta\frac{\rho v^2}{2} \quad (10\text{-}43)$$

式中 Δp_l——各管段局部阻力损失，kPa；

ζ——管道配件的局部阻力系数，见表 10-44 和表 10-45；

v——水流速度，m/s；

ρ——水的密度，kg/m^3。

表 10-44　常用管道配件的局部阻力系数

名称	局部阻力系数ζ					
截止阀	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
直杆式	16.0	10.0	9.0	9.0	8.0	7.0
斜杆式	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
止回阀	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
升降式	16.0	10.0	9.0	9.0	8.0	7.0
旋启式	5.1	4.5	4.1	4.1	3.9	3.4

续表

名称	局部阻力系数ζ					
旋塞阀（全开时）	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
	4.0	2.0	2.0	2.0	—	—

名称	局部阻力系数ζ
蝶阀（全开时）	0.1～0.3

名称	局部阻力系数ζ						
闸阀（全开时）	DN15	DN20～DN50	DN80	DN100	DN150	DN200～DN250	DN300～DN450
	1.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0.08	0.07

名称	局部阻力系数ζ
渐缩变径管	0.10（对应小断面的流速）
渐扩变径管	0.30（对应小断面的流速）

名称	局部阻力系数ζ						
焊接弯头	DN80	DN100	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350
90°	0.51	0.63	0.72	0.72	0.78	0.87	0.89
45°	0.26	0.32	0.36	0.36	0.39	0.44	0.45
普通弯头	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65
90°	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
45°	1.0	1.0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5
弯管（煨弯）D/R（R—弯曲半径；D—直径）	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
	1.2	0.8	0.6	0.48	0.36	0.30	0.29
括弯	15	20	25	32	40	50	
	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	

名称	局部阻力系数ζ
水箱进水口	1.0
水箱出水口	0.50（箱体上的出水管在箱内与壁面保持平直，无凸出部分）
水箱出水口	0.75（箱体上的出水管在箱体内凸出一定长度）
水泵入口	1.0
过滤器	2.0～3.0
除污器	4.0～6.0
无底吸水底阀	2.0～3.0

名称	局部阻力系数ζ								
有底吸水底阀	DN40	DN50	DN80	DN100	DN150	DN200	DN250	DN300	DN500
	12	10	8.5	7	6	5.2	4.4	3.7	2.5

表 10-45　　三通的局部阻力系数

续表

序号	形式简图	流向	局部阻力系数ζ
1		2→3	1.5
2		1→3	0.1
3		1→2	1.5
4		1→3	0.1
5		1, 3→2	3.0
6		2→1, 3	1.5
7		2→3	0.5
8		3→2	1.0
9		2→1	3.0
10		3→1	0.1

（七）管段阻力损失

$$\Delta p=\Delta p_f+\Delta p_j \quad (10\text{-}44)$$

式中 Δp——管段阻力损失，kPa；

Δp_f——管段沿程阻力损失，kPa；

Δp_j——管段局部阻力损失，kPa。

（八）最大通过流量限制

最大通过流量见表 10-46。超过表 10-46 限制，将导致管路损失显著增加。

表 10-46　最大通过流量

公称直径	最大通过流量（m^3/h）	最大流速（m/s）
DN50	15	2.12
DN65	24	2.01
DN100	66	2.33
DN125	108	2.44
DN150	155	2.45
DN200	300	2.69
DN250	480	2.72
DN300	600	2.71

（九）设计举例

【例 10-4】 已知：某电厂冷水管网布置及水力计算草图如图 10-22 所示，该冷水管网仅夏季运行，供/回水温度为 7/12℃，不考虑热补偿问题，采用地沟敷设。

问：为该冷网选择管径，计算从制冷站出口到各建筑物入口阀门后的阻力，确定最不利环路，选择活动支架最大间距。

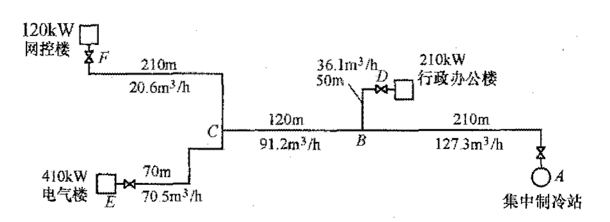


图 10-22　冷水管网水力计算简图

解

1. 沿程阻力计算

依据流量，查表 10-43，确定管径，查到流速和单位沿程阻力，根据公式 $\Delta p_f=L\times R/1000$，计算沿程阻力损失，见表 10-47。

表 10-47　沿程阻力计算

管号	冷负荷（kW）	设计流量（m^3/h）	计算长度 L(m)	公称直径	流速（m/s）	单位沿程阻力 R（Pa/m）	沿程阻力损失 Δp_f（kPa）
AB	740	127.3	210	DN200	1.42	209	43.9
BC	530	91.2	120	DN150	1.34	216	25.9
CE	410	70.5	70	DN150	1.15	172	12
CF	120	20.6	200	DN100	0.75	125	25
BD	210	36.1	50	DN100	0.89	156	7.8

经校核，实际流速小于允许流速。

2. 局部阻力计算

表 10-48　局部阻力和管段总阻力计算

管号	局部管件名称	数量	ζ	$\Sigma\zeta$	流速 v（m/s）	$\frac{\rho v^2}{2}$（$\times10^3$）	局部阻力损失 Δp_j（kPa）	沿程阻力损失 Δp_f（kPa）	管段阻力损失 Δp（kPa）
AB	闸阀	1	0.08	0.78	1.42	1.0082	0.9	43.9	44.8
	90°弯头	2	0.3						
	三通	1	0.1						
BC	三通	1	1.5	1.5	1.34	0.8978	1.35	25.9	27.25
CE	90°弯头	2	0.36	0.82	1.15	0.66125	0.54	12	12.54
	闸阀	1	0.1						
CF	闸阀	1	0.2	2.66	0.75	0.28125	0.73	25	25.73
	90°弯头	2	0.48						
	分流三通	1	1.5						

续表

管号	局部管件名称	数量	ζ	$\Sigma\zeta$	流速 v (m/s)	$\frac{\rho v^2}{2}$ (×10³)	局部阻力损失 Δp_j (kPa)	沿程阻力损失 Δp_f (kPa)	管段阻力损失 Δp (kPa)
BD	闸阀	1	0.2	2.66	0.89	0.39605	1.05	7.8	8.85
	90°弯头	2	0.48						
	分流三通	1	1.5						

3. 阻力损失计算结果

制冷站至电气楼（*AB*、*BC*、*CE*）阻力损失为

$\Delta p=\Delta p_{AB}+\Delta p_{BC}+\Delta p_{CE}=44.8+27.25+12.54=84.59$（kPa）

制冷站至网控楼（*AB*、*BC*、*CF*）阻力损失为

$\Delta p=\Delta p_{AB}+\Delta p_{BC}+\Delta p_{CF}=44.8+27.25+25.73=97.78$（kPa）

制冷站至行政办公楼（*AB*、*BD*）阻力损失为

$\Delta p=\Delta p_{AB}+\Delta p_{BD}=44.8+8.85=53.65$（kPa）

最不利环路为制冷站至网控楼。

4. 活动支架最大间距选择

按表 10-20，确定各管段活动支架的最大间距，见表 10-49。

表 10-49　各管段活动支架最大间距

管号	公称直径	最大间距（m）
AB	DN200	12.57
BC	DN150	9.53
CE	DN150	9.53
CF	DN100	7.48
BD	DN100	7.48

5. 保温、排气、排水、管沟布置

此冷网的保温、排气、排水、管沟布置细节等可以参考热网设计。

第四节　供热管道直埋敷设

一、概述

供热管道经常采用直埋敷设方式，以节省管道敷设占用的空间，降低工程造价。目前，在火力发电厂工程中，经常采用直埋敷设方式的供热管道是热水管道，某些低温低压蒸汽管道也可以采用直埋敷设。

蒸汽管道采用直埋敷设方式，其计算和安装设计比较复杂，应按本章第一节有关蒸汽管道设计要求及 CJJ/T 104《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》进行。本节重点介绍热水管道直埋敷设的设计。

二、热力直埋管道设计

（一）热力直埋管道的安装方式

直埋管道的安装方式分为有补偿安装和无补偿安装。无补偿安装又分为无补偿冷安装和无补偿预热安装。

1. 有补偿安装的特点

（1）管道的受热膨胀变形全部释放，管道中无锚固段。运行时，所有管道都产生热位移。管段中的轴向应力最小。

（2）管系中设置固定支架和补偿器，其土建和安装工程量大，投资高，现场施工复杂。

（3）补偿器等薄弱环节多，易产生渗水等外腐蚀，其运行维护工作量大。

（4）现在的直埋热水管道设计中使用的少了，但直埋蒸汽管道适用此方式。

2. 无补偿冷安装的特点

（1）管道施工安装过程中，管沟内的管道在环境温度下回填，锚固段的受热膨胀变形不能释放，因此锚固段的轴向力最大。

（2）长直管道上不设置补偿器，可以取消管网中的绝大部分补偿器和固定支架，但需要增加钢管壁厚满足强度要求，工程投资较高。

（3）对于高温和大管径管道，对保温管质量和施工精度要求高。此安装方式适用于直埋热水小管径管道。

3. 无补偿预热安装的特点

（1）管道施工安装过程中，管沟内的管道在预热温度下回填，锚固段的受热膨胀变形不能释放，但锚固段的轴向力仅为无补偿冷安装的 1/2。

（2）长直管道上不设置补偿器，可以取消管网中的绝大部分补偿器和固定支架，增加预热部分施工费用，工程投资较低。

（3）实际工程多预热到中间温度，介于有补偿安装和无补偿冷安装之间的安装方式。

（4）钢管轴向力小，薄弱环节少，因此故障率低，维护工作量小，基本可以实现免维护。

（二）热力直埋管段的类型及术语

直埋供暖管道按照前进方向分为直管段和弯管等。

弯管包括 L 形弯管、Z 形弯管、Π 形弯管、折弯、三通等。

直管段包括：

（1）直管段根据管道内力沿管线的变化规律分为过渡段和锚固段。

（2）直管段根据管道热膨胀量被压缩的程度分为有补偿管段和无补偿管段。

（3）活动端是管道上安装补偿器和弯管等能补偿热位移的部位。

（4）固定点是管道上采用强制固定措施不能发生位移的点，即固定支架。

（5）锚固点是管道温度升高或降低到某一定值时，直线管道上发生热位移和不发生热位移管段的自然分界点。锚固点的一侧为有补偿管段，另一侧为无补偿管段。

（6）驻点是两端为活动端的直线管段，是当管道温度变化且全线管道产生朝向两端或背向两端的热位移，管道上位移为零的点。驻点的两侧均为有补偿管段。

（7）锚固段是管道温度发生变化时，不产生热位移的管段。锚固段是无补偿管段。

（8）过渡段是管段一端为固定点或驻点、锚固点，另一端为活动端，当管道温度变化时，能产生热位移的管段。过渡段是有补偿管段。

（三）热力管道直埋安装的应力分析

应力分类法把应力按照作用的危险程度分为一次应力，二次应力和峰值应力三类。

1. 一次应力

一次应力是由管道内压和持续外载的作用所产生的应力。作用是非自限性，一次应力始终随作用力的增大而增大，直至破坏，如内压力。当一次应力超过钢材屈服极限最小值 σ_s 时，管壁会产生较大的塑形变形，塑形变形的进一步增加，可导致管道的爆裂或断裂。

2. 二次应力

二次应力是由于管道热胀冷缩等变形受约束产生的应力。作用具有自限性，是由变形受约束或者结构各部分之间变形协调而引起的应力。温度差引起的应力属于二次应力。管道在升温热膨胀过程中，可以允许有限量的塑性变形。变形的同时总能使应力下降，反过来又使变形不再发展，因此当二次应力超过屈服极限 σ_s 时，也只会产生有限的塑性变形。

这种塑性变形会对管壁内部结构造成一定程度的损伤，循环往复的塑性变形将使管道发生损伤。在管道的使用期间内，当压力和温度所产生的应力变化范围超过了 2 倍的钢材屈服极限最小值 σ_s 时，在升温过程中将出现压缩塑性变形，在降温过程中将出现拉伸塑性变形，最终导致管道的循环塑性破坏。

对于 Q235 钢、10 钢和 20、20g 钢，这些直埋钢管常用材质，有 $3[\sigma]<2\sigma_s$，因此用 3 倍许用应力代替 2 倍的屈服极限。

锚固段安定性分析，用一次应力和二次应力综合作用下的相当应力变化范围不大于 $3[\sigma]$ 作为安定性分析的强度条件。

3. 峰值应力

峰值应力是管道或附件因局部结构不连续而引起的应力集中，是叠加到一次加二次应力之上的应力增量，介质温度急剧变化，在器壁或管壁中引起的热应力也归入峰值应力。

峰值应力不会引起显著的变形，但循环变化的峰值应力，也会造成钢管内部结构的损伤，导致管道疲劳破坏。管道在弯头、三通处产生的应力属于峰值应力。

局部应力集中部位的一次应力、二次应力和峰值应力的当量应力变化幅度不应大于 3 倍钢材的许用应力。

4. 总结

对整个热网系统各个环节进行分析研究，对受力情况进行归类分析，可以得出如下结论：

（1）直埋热力管道上的作用分为力作用和位移作用，内压属于力作用，而温度、土壤摩擦力和压缩反力属于位移作用。

（2）直埋热力管道上的应力分为一次应力、二次应力和峰值应力，力作用在直管上产生一次应力，位移作用在直管上产生二次应力，力作用和位移作用在结构不连续的管件处产生峰值应力。

（3）直埋热力管道系统存在无限塑性流动、循环塑性变形、低循环疲劳、高循环疲劳、整体失稳、局部失稳（屈曲）和阀门破坏七种破坏方式，其中直管的循环塑性变形和整体失稳，以及管件的低循环疲劳和阀门破坏是管道的最主要破坏方式。

（4）可以从管件结构设计、利用自然补偿以及设置补偿装置和固定墩三个方面进行直埋管道强度设计。

直埋管道的三通、弯头、阀门及变径管等应力集中的部位应进行强度验算。当强度验算不满足要求时，可采取调整部件结构尺寸或局部设置补偿器或固定墩等方法。

1）对于直管段，主要是防止循环塑性破坏和失稳破坏。

过渡管段设计计算的重点是确定管道沿线方向各点的热伸长，从而合理地选择补偿器和引出分支。

锚固段轴向应力最大，是直管段应力验算的重点。也是整体失稳、局部失稳、折角、折弯、变径管、异径管、三通等疲劳验算的重点。

2）对于管网中的三通、弯头、异径管、折角以及阀门等部件，主要是防止疲劳破坏。

（5）措施。

1）为防止循环塑性破坏，主要应控制使管道受力满足强度条件。

2）为防止整体失稳，应通过加大埋深，增加管道上的作用荷载。

3）为防止大口径管道局部失稳，应加大管壁厚度。

4）对于局部突变所引起的应力集中部位，可采取加强三通，增加弯头壁厚，加大弯曲半径，用多个逐级变化的异径管代替突变（超过两级）的异径管，设置固定墩限制变形转移等防止疲劳破坏的措施。

5）从管道系统考虑，在局部管段及个别管件附近，为保护薄弱管件及减小固定墩推力，应增设补偿器或补偿管段，以提高管道的释放变形能力，进而降低温升轴向力。

（四）热力直埋管道设计步骤

（1）按总平面给定的位置布置管线。

（2）根据设计温度、压力、运行工况（全年运行或只在采暖期运行）和管径等设计参数，确定管线的设计方法。

（3）无补偿管段应力验算。

（4）根据管道竖向稳定性验算确定管线最小埋深。

（5）计算管道供、回水的最大过渡段长度。

（6）根据供水管道的最大过渡段长度确定锚固段或驻点的位置。

（7）根据锚固段或驻点的位置校核弯头的补偿能力或补偿器的补偿量。

（8）合理布置分支管的位置，使其符合规范的要求。

（9）校核三通、变径管等附件的应力。

（五）热力直埋管道安定性判断

利用最大循环温差公式判断管道的安定性更加直观。

最大循环温差计算式为

$$\Delta T=\frac{3[\sigma]-(1-\upsilon)\sigma_t}{\alpha\times E} \tag{10-45}$$

$$\sigma_t=\frac{p_d\times D_i}{2\delta} \tag{10-46}$$

式中　$[\sigma]$——钢材的许用应力，MPa；

υ——钢材的泊松系数，取 0.3；

σ_t——管道内压力引起的环向应力，MPa；

α——钢材的线膨胀系数，m/（m·℃）；

E——钢材的弹性模量，MPa；

p_d——管道的工作压力，MPa；

D_i——考虑管壁减薄以后管道的内径，mm；

δ——考虑管壁减薄以后管道的壁厚，mm。

t_1 为管道工作循环最高温度；t_0 为管道工作循环最低温度，对于全年运行的管道应取 30℃，对于只在采暖期运行的管道应取 10℃。

若 $t_1-t_0<\Delta T$，管系安全，设置锚固段，按无补偿冷安装设计。

若 $t_1-t_0>\Delta T$，管系不安全，不能布置锚固段，且过渡段长度应按下式计算，即

$$L\leqslant\frac{(3[\sigma]-[\sigma_t])A}{1.6F_{max}}\times10^6 \tag{10-47}$$

式中　L——设计布置的过渡段长度，m；

$[\sigma]$——钢材的许用应力，MPa；

$[\sigma_t]$——管道内压引起的环向应力，MPa；

A——钢管管壁的横截面积，m^2；

F_{max}——单位长度最大摩擦力，N。

（六）直管段局部稳定性验算

公称直径大于 500mm 的管道应进行局部稳定性验算和径向稳定性验算，计算式见 CJJ/T 81—2013《城镇供热直埋热水管道技术规范》。

（七）管道竖向稳定性验算

验算管道的埋深能否保证管道的竖向安全。

（1）直管段上的垂直荷载应符合下列计算式，即

$$Q\geqslant\frac{\gamma_s F_{p,max}^2}{E\times I_p\times10^6}f_0 \tag{10-48}$$

$$f_0=\frac{\pi}{200}\sqrt{\frac{EI_p\times10^6}{F_{p,max}}} \tag{10-49}$$

式中　Q——作用在单位长度管道上的垂直分布荷载，N/m；

γ_s——安全系数，取 1.1；

$F_{p,max}$——管道的最大轴向力，N，按过渡段内工作管任一截面上的最大轴向力或锚固段的轴向力计算，按式（10-57）和式（10-54）计算取大值；

f_0——初始挠度，当 $f_0<0.01$m 时，取 0.01m；

E——钢材的弹性模量，MPa；

I_p——直管工作管横截面的惯性矩，m^4。

$$Q=G_W+G+F_S \tag{10-50}$$

$$G_W=\left(H\times D_c-\frac{\pi\times D_c^2}{8}\right)\rho g \tag{10-51}$$

$$F_S=\rho gH^2K_0\tan\varphi \tag{10-52}$$

$$K_0=1-\sin\varphi \tag{10-53}$$

式中　G_W——单位长度管道上方的土层重量，N/m；

G——包括介质在内保温管单位长度自重，N/m；

F_S——单位长度管道上方土体的剪切力，N/m；

H——管道中心线覆土深度，m；

D_c——外护管外径，m；

ρ——土密度，可取 1800kg/m^3；

g——重力加速度，m/s^2；

K_0——土壤静压力系数；

φ——回填土内摩擦角，砂土可取 30°。

（2）在管道工作循环最高温度下，过渡段内工作管任一截面上的最大轴向力和最小轴向力应按下列公式计算：

1）最大轴向力计算式为

$$F_{t,max}=F_{max}L'+F_f \tag{10-54}$$

2）最小轴向力计算式为

$$F_{t,min}=F_{min}L'+F_f \tag{10-55}$$

式中 $F_{t,max}$——过渡段内计算截面的最大轴向力，N；

$F_{t,min}$——过渡段内计算截面的最小轴向力，N；

F_{max}——单位长度最大摩擦力，N/m；

F_{min}——单位长度最小摩擦力，N/m；

L'——过渡段内计算截面距活动端的距离，m；

F_f——活动端对管道伸缩的阻力，N。

（3）屈服温差是管道在伸缩完全受阻的工作状态下，工作管管材开始屈服时的温度与安装温度之差。

工作管的屈服温差应按下列公式计算，即

$$\Delta T_y=\frac{n[\sigma]-(1-\upsilon)\sigma_t}{\alpha E} \tag{10-56}$$

式中 ΔT_y——工作管屈服温差，℃；

n——屈服极限增强系数，取 1.3；

$[\sigma]$——钢材的许用应力，MPa；

υ——钢材的泊松系数，取 0.3；

σ_t——管道内压力引起的环向应力，MPa；

α——钢材的线膨胀系数，m/（m·℃）；

E——钢材的弹性模量，MPa。

（4）在管道工作循环最高温度下，锚固段内的轴向力应按下式计算，即

$$F_a=[\alpha\times E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times10^6 \tag{10-57}$$

式中 F_a——锚固段的轴向力，N；

α——钢材的线膨胀系数，m/（m·℃）；

E——钢材的弹性模量，MPa。

t_1——管道工作最高循环温度，℃；

t_0——管道计算安装温度，℃；

υ——钢材的泊松系数，取 0.3；

σ_t——管道内压引起的环向应力，MPa；

A——工作管管壁的横截面积，m²。

当 $t_1-t_0>\Delta T_y$ 时，取 $t_1-t_0=\Delta T_y$。

（八）供、回水的最大过渡段长度计算

1. 保温管与土壤之间的单位长度摩擦力计算公式

保温管与土壤之间的单位长度摩擦力应按下式计算，即

$$F=\mu\left(\frac{1+K_0}{2}\pi\times D_c\times\sigma_v+G-\frac{\pi}{4}D_c^2\times\rho\times g\right) \tag{10-58}$$

$$K_0=1-\sin\varphi \tag{10-59}$$

式中 F——单位长度摩擦力，N/m；

μ——摩擦系数，见表 10-50；

K_0——土壤静压力系数；

D_c——外护管外径，m；

σ_v——管道中心线处土壤应力，Pa；

G——包括介质在内的保温管单位长度自重，N/m；

ρ——土壤密度，可取 1800kg/m³；

g——重力加速度，m/s²；

φ——回填土内摩擦角，砂土可取 30°。

保温管外壳与土壤之间的摩擦系数应根据回填条件确定，可按表 10-50 采用。

表 10-50 保温管外壳与土壤间的摩擦系数

回填料	摩擦系数	
	最大摩擦系数 μ_{max}	最小摩擦系数 μ_{min}
中砂	0.40	0.20
粉质黏土或砂质粉土	0.40	0.15

2. 土壤应力计算公式

（1）当管道中心线位于地下水位以上时的土壤应力计算式为

$$\sigma_v=\rho gH \tag{10-60}$$

式中 σ_v——管道中心线处土壤应力，Pa；

ρ——土壤密度，可取 1800kg/m³；

g——重力加速度，m/s²；

H——管道中心线覆土深度，m。

（2）当管道中心线位于地下水位以下时的土壤应力计算式为

$$\sigma_v=\rho gH_w+\rho_{sw}g(H-H_w) \tag{10-61}$$

式中 H_w——地下水位线深度，m；

ρ_{sw}——地下水位线以下的土壤有效密度，可取 1000kg/m³。

3. 直管段的过渡段长度计算公式

（1）直管段过渡段最大长度计算式为

$$L_{max}=\frac{[\alpha E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times10^6}{F_{min}} \tag{10-62}$$

（2）直管段过渡段最小长度计算式为

$$L_{min}=\frac{[\alpha\times E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times10^6}{F_{max}} \tag{10-63}$$

式中 L_{max}——直管段的过渡段最大长度，m；

L_{min}——直管段的过渡段最小长度，m；

α——钢材的线膨胀系数，m/（m·℃）；

E——钢材的弹性模量，MPa；

t_1——管道工作循环最高温度，℃；

t_0——管道计算安装温度，℃；

υ——钢材的泊松系数，取 0.3；

σ_t——管道内压引起的环向应力，MPa；

A——钢管管壁的横截面积，m；

F_{max}——单位长度最大摩擦力，N/m；

F_{min}——单位长度最小摩擦力，N/m。

（九）转角自然补偿计算

1. 转角管段的臂长应大于或等于弯头变形段长度。弯头变形段长度计算式为

$$l_e=\frac{2.3}{k} \tag{10-64}$$

$$k=\sqrt[4]{\frac{D_c C}{4EI_p\times10^6}}$$

式中　l_e——弯头变形段长度，m；

k——与土壤特性和管道刚度有关的参数，1/m；

D_c——外护管外径，m；

C——土壤横向压缩反力系数，N/m³；

E——钢材的弹性模量，MPa；

I_p——直管横截面的惯性矩，m⁴。

2. 转角管段弹性抗弯铰解析计算法

（1）水平转角管段的过渡段长度计算式为

$$l_{t,max}=\sqrt{Z^2+\frac{2Z\times[\alpha E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times10^6}{F_{min}}}-Z \quad (10\text{-}65)$$

$$l_{t,min}=\sqrt{Z^2+\frac{2Z\times[\alpha E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times10^6}{F_{max}}}-Z \quad (10\text{-}66)$$

$$l_t=\sqrt{Z^2+\frac{Z\times[\alpha E(t_1-t_2)-\upsilon\sigma_t]A\times10^6}{F_{min}}}-Z \quad (10\text{-}67)$$

$$Z=\frac{A\tan^2(\phi/2)}{2k^3I_p(1+C_M)} \quad (10\text{-}68)$$

$$C_M=\frac{1}{1+K'kR\phi(I_p/I_b)} \quad (10\text{-}69)$$

$$K'=1.65\frac{r_{bm}^2}{R\delta_b} \quad (10\text{-}70)$$

式中　$l_{t,max}$——水平转角管段的过渡段最大长度，m；

$l_{t,min}$——水平转角管段的过渡段最小长度，m；

l_t——水平转角管段循环工作的过渡段长度，m；

α——钢材的线膨胀系数，m/（m・℃）；

E——钢材的弹性模量，MPa；

t_1——管道工作循环最高温度，℃；

t_0——管道计算安装温度，℃；

t_2——管道工作循环最低温度，℃；

υ——钢材的泊松系数，取 0.3；

σ_t——管道内压引起的环向应力，MPa；

A——钢管管壁的横截面积，m；

F_{max}——单位长度最大摩擦力，N/m；

F_{min}——单位长度最小摩擦力，N/m；

ϕ——转角管段的折角，rad；

I_p——直管工作管横截面的惯性矩，m⁴；

I_b——弯头工作管横截面的惯性矩，m⁴；

k——与土壤特性和管道刚度有关的参数，1/m；

K'——弯头工作管柔性系数；

R——弯头的曲率半径，m；

r_{bm}——弯头工作管横截面的平均半径，m；

δ_b——弯头工作管的公称壁厚，m；

Z、C_M——计算系数。

当 $t_1-t_0>\Delta T_y$ 时，取 $t_1-t_0=\Delta T_y$。

（2）水平转角管段弯头弯矩变化范围计算。水平转角管段示意如图 10-23 所示。

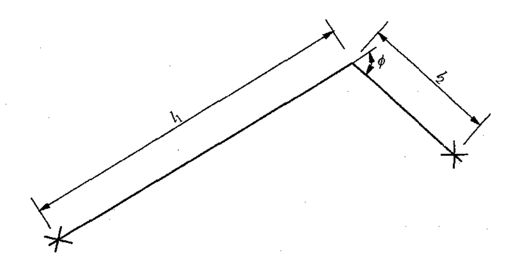


图 10-23　水平转角管段示意图

1）水平转角管段的计算臂长 l_{c1}、l_{c2} 和平均计算臂长 l_{cm} 应按下列方法确定，即

$$l_{cm}=\frac{l_{c1}+l_{c2}}{2} \quad (10\text{-}71)$$

式中　l_{cm}——水平转角管段的平均计算臂长，m。

l_{c1}、l_{c2}——水平转角管段的计算臂长，当 $l_1\geqslant l_2\geqslant l_t$ 时，取 $l_{c1}=l_{c2}=l_t$；当 $l_1\geqslant l_t\geqslant l_2$ 时，取 $l_{c1}=l_t$、$l_{c2}=l_2$；当 $l_t\geqslant l_1\geqslant l_2$ 时，取 $l_{c1}=l_1$、$l_{c2}=l_2$，m。

l_t——水平转角管段循环工作的过渡段长度，m。

l_1、l_2——设计布置的转角管段两侧臂长，m。

2）弯头的弯矩变化范围按下列公式计算，即

$$M=\frac{C_M[\alpha\times E\times A(t_1-t_2)\times10^6-F_{min}\times l_{cm}]\tan(\phi/2)}{k\{1+C_M+[A\times\tan^2(\phi/2)]/(2k^3\times I_p\times l_{cm})\}} \quad (10\text{-}72)$$

（3）水平转角管段弯头的升温轴向力计算。

1）水平转角管段的计算臂长 l_{c1}、l_{c2} 和平均计算臂长 l_{cm} 应按下列方法确定，即

$$l_{cm}=\frac{l_{c1}+l_{c2}}{2} \quad (10\text{-}73)$$

式中　l_{cm}——水平转角管段的平均计算臂长，m。

l_{c1}、l_{c2}——水平转角管段的计算臂长，当 $l_1\geqslant l_2\geqslant l_{t,max}$ 时，取 $l_{c1}=l_{c2}=l_{t,max}$；当 $l_1\geqslant l_{t,max}\geqslant l_2$ 时，取 $l_{c1}=l_{t,max}$、$l_{c2}=l_2$，当 $l_{t,max}\geqslant l_1\geqslant l_2$ 时，取 $l_{c1}=l_1$、$l_{c2}=l_2$，m。

$l_{t,max}$——水平转角管段的过渡段最大长度，m。

l_1、l_2——设计布置的转角管段两侧臂长，m。

2）弯头的轴向力应按下列公式计算，即

a. 当计算臂长 $l_{c1}=l_{c2}=l_{cm}$ 时，计算式为

$$N_b=\frac{(1+C_M)[\alpha EA(t_1-t_0)\times10^6-1/(2F_{min}l_{cm})]}{1+C_M+[A\tan^2(\phi/2)]/(2k^3I_pl_{cm})} \quad (10\text{-}74)$$

b．当计算臂长 $l_{c1}\neq l_{c2}$ 时，计算式为

$$F_1=\frac{J_B+J_Q n_t}{U} \quad (10\text{-}75)$$

$$F_2=\frac{J_B+J_Q n_2}{U} \quad (10\text{-}76)$$

$$J_B=(1+C_M)\left[\alpha EA(t_1-t_0)\times10^6-\frac{F_{min}}{2}\times\left(\frac{l_{c1}^2+l_{c2}^2}{l_{c1}+l_{c2}}\right)\right] \quad (10\text{-}77)$$

$$J_Q=\tan^4\frac{\phi}{2}\left[\alpha EA(t_1-t_0)\times10^6-\frac{F_{min}}{2}\times(l_{c1}+l_{c2})\right] \quad (10\text{-}78)$$

$$U=1+C_M+\frac{A\tan^2(\phi/2)}{k^3 I_p(l_{c1}+l_{c2})} \quad (10\text{-}79)$$

$$n_1=\frac{l_{c1}-l_{c2}}{l_{c1}+l_{c2}} \quad (10\text{-}80)$$

$$n_2=\frac{l_{c2}-l_{c1}}{l_{c1}+l_{c2}} \quad (10\text{-}81)$$

式中 F_b——弯头两侧计算臂长相等时的轴向力，N；

F_1——弯头两侧计算臂长不等时，l_{c1} 侧的轴向力，N；

F_2——弯头两侧计算臂长不等时，l_{c2} 侧的轴向力，N；

J_B、J_Q、U、n_1、n_2 ——计算系数。

（十）弯头的强度计算

（1）弯头在弯矩作用下的最大环向应力变化幅度计算式为

$$\sigma_{bt}=\frac{\beta_b M r_{bo}}{I_b}\times10^{-6} \quad (10\text{-}82)$$

$$\beta_b=0.9\left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (10\text{-}83)$$

$$\lambda=\frac{R\delta_b}{r_{bm}^2} \quad (10\text{-}84)$$

$$r_{bm}=r_{b0}-\frac{\delta_b}{2} \quad (10\text{-}85)$$

式中 σ_{bt}——弯头在弯矩作用下最大环向应力变化幅度，MPa；

β_b——弯头平面弯曲环向应力加强系数；

M——弯头的弯矩变化范围，N·m；

r_{bo}——弯头工作管横截面的外半径，m；

I_b——弯头工作管横截面的惯性矩，m^4；

λ——弯头工作管的尺寸系数；

R——弯头的曲率半径，m；

δ_b——弯头工作管的公称壁厚，m；

r_{bm}——弯头工作管横截面的平均半径，m。

（2）弯头的强度验算式为

$$\sigma_{bt}+0.5\sigma_{pt}\leqslant 3[\sigma] \quad (10\text{-}86)$$

$$\sigma_{pt}=\frac{p_d r_{bi}}{\delta_b} \quad (10\text{-}87)$$

式中 σ_{bt}——弯头在弯矩作用下最大环向应力变化幅度，MPa；

σ_{pt}——弯头在内压作用下的最大环向应力，MPa；

$[\sigma]$——钢材的许用应力，MPa；

p_d——管道计算压力，MPa；

r_{bi}——弯头工作管横截面内半径，m；

δ_b——弯工作管头的公称壁厚，m。

（十一）设计举例

【例 10-5】 已知：根据本节二、（七）的例题条件，供暖系统的最大工作压力为 0.65MPa，管网的工作压力也按此计算，管网供水温度为 110℃，只在采暖期运行，安装温度取 10℃。用户 1 的热负荷为 500kW，用户 2 的热负荷为 2300kW，用户 3 的热负荷为 1700kW。管段长度标在图 10-24 中。

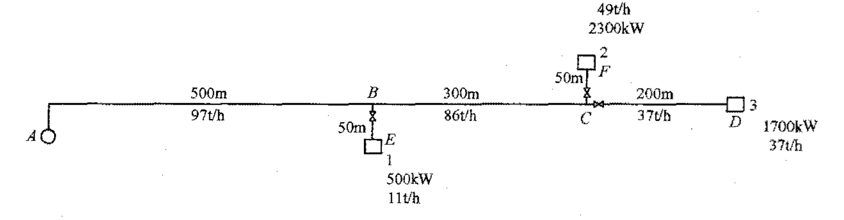


图 10-24 设计案例——直埋热水管网计算简图

问：试进行直埋管道设计计算。

解

（1）管道的安定性分析。近热源处钢管为 ϕ219×6mm，外护管直径为 315mm，管道覆土深度为 1m，钢材为 Q235，弹性模量 E=19.2×10^4MPa，泊松系数 υ=0.3，钢材的线膨胀系数 α =12.28×10^{-6}m/（m·℃），钢材的许用应力 $[\sigma]$ = 123MPa，管道周围填沙。

据式（10-46），$\sigma_t=\dfrac{p_d D_i}{2\delta}=\dfrac{0.65\times207}{2\times6}$=11.2（MPa）

据式（10-45），$\Delta T=\dfrac{3[\sigma]-(1-\upsilon)\sigma_t}{\alpha E}$

$$=\frac{3\times 123-(1-0.3)\times 11.2}{12.28\times 10^{-6}\times 19.2\times 10^{4}}$$

$$=153\ (℃)$$

管道运行的最大循环温差为

$$110-10=100(℃)\leqslant 153℃$$

设置锚固段，按无补偿冷安装设计。

（2）计算管道最大和最小摩擦力。初定管顶覆土深度为1m，按表10-50取保温管外壳与土壤间的最大摩擦系数μ_{max}=0.4，最大摩擦系数μ_{min}=0.2，则

$$K_0=1-\sin\varphi=1-\sin\varphi=1-\sin 30°=0.5$$

$$\sigma_v=\rho g H=1800\times 9.81\times 1.1575=20439\ (\text{Pa})$$

$$F_{max}=\mu_{max}\left(\frac{1+K_0}{2}\pi D_c\sigma_v+G-\frac{\pi}{4}D_c^2\rho g\right)$$

$$=0.4\times\left(\frac{1+0.5}{2}\times 3.14\times 0.315\times 20439+800-\frac{3.14}{4}\times 0.315^2\times 1800\times 9.81\right)$$

$$=5835(\text{N/m})$$

$$F_{min}=\mu_{min}\left(\frac{1+K_0}{2}\pi D_c\sigma_v+G-\frac{\pi}{4}D_c^2\rho g\right)$$

$$=0.2\times\left(\frac{1+0.5}{2}\times 3.14\times 0.315\times 20439+800-\frac{3.14}{4}\times 0.315^2\times 1800\times 9.81\right)$$

$$=2917\ (\text{N/m})$$

（3）计算直管段过渡段最大长度，即

$$L_{max}=\frac{[\alpha E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times 10^6}{F_{min}}$$

$$=\frac{[12.28\times 10^{-6}\times 19.2\times 10^4\times(110-10)-0.3\times 11.2]\times 3.14\times(0.219^2-0.207^2)\times 10^6}{2917}$$

$$=1279\ (\text{m})$$

供水管道的最大过渡段长度为1279m。

（4）计算直管段过渡段最小长度，即

$$L_{min}=\frac{[\alpha E(t_1-t_0)-\upsilon\sigma_t]A\times 10^6}{F_{max}}$$

$$=\frac{[12.28\times 10^{-6}\times 19.2\times 10^4\times(110-10)-0.3\times 11.2]\times 3.14\times(0.219^2-0.207^2)\times 10^6}{5835}$$

$$=639\ (\text{m})$$

供水管道的最小过渡段长度为639m。

（5）根据上述结果，整个管系均处于过渡段。

（6）校核整个管系的弯头和三通的应力满足强度要求。

第十一章 供暖通风与空气调节系统绝热

第一节 保　　温

一、概述

管道与设备保温的主要目的是防止介质温度过度降低，保证到达用户的介质满足使用要求；防止设备和管道发生冻结；减少热损失，节约能源，以提高经济效益；满足职业卫生安全要求，避免发生烫伤等伤害事故。

1. 保温的条件

具备下列情形之一的设备、管道及其附件、阀门等均应保温：

（1）设备与管道的外表面温度高于50℃时（不包括室内供暖管道）。

（2）热介质保持一定状态或参数时。

（3）不保温时热损耗量大，且不经济时。

（4）安装或敷设在有冻结危险场所时。

（5）不保温时散发的热量会对厂房温度、湿度参数产生不利影响时。

此外，工艺不需要保温的管道与设备，但其外表面温度超过60℃，并需经常操作与维护，而又无法采用其他措施防止引起烫伤的部位应保温。

在电厂中，汽-水热交换器、水-水热交换器、凝结水箱、热水管、分（集）水器、蒸汽管、凝结水管、热风管道及寒冷地区的新风管等设备、管道及其附件均应保温。供暖管道在下列情况下应保温：敷设在室外、非采暖房间、外门内及其他有冻结危险的地方；敷设在地沟、管道井、管道层、天花板内、闷顶或阁楼内的管道；管道通过的房间或者地点要求保温时；热媒温度超过100℃，且安装在容易使人烫伤的地方处的管道；穿越栈桥、廊道、转运站等处的供暖管道主干管。

2. 保温材料应具备的特性

保温材料通常应具备以下特性：

（1）允许使用温度应高于在正常运行时介质的最高温度。

（2）导热系数要低，在平均温度为70℃时，其导热系数不得大于0.08W/（m·℃）；在平均温度小于或等于350℃时，其导热系数应不大于0.12W/（m·℃）。

（3）密度要低，但应具有一定的机械强度。

（4）不腐蚀金属，易于施工，造价低廉。

（5）吸水性低。对于地下敷设管道，严禁采用吸水性保温材料进行填充式保温。

（6）室内供暖系统保温材料应为不燃材料。GB 8624—2012将建筑材料及其制品的燃烧性能分为A、B1、B2、B3共4个等级，其中A级为不燃性材料及制品，B1级为难燃性材料及制品，B2级为可燃性材料及制品，B3级为易燃性材料及制品。

（7）除室内供暖系统外，在高温条件下，经综合经济比较，可选用复合材料。

3. 保温材料及其制品的主要性能

常用保温材料有离心玻璃棉、岩棉、矿棉、膨胀珍珠岩等，其主要性能见表11-1。更多保温材料及其制品的物理性能和化学性能要求参见GB 50264—2013《工业设备及管道绝热工程设计规范》。

表11-1　常用绝热材料及其制品的主要性能表

名称	密度（kg/m^3）	导热系数[W/（m·℃）]	适用温度（℃）	主要特性
岩棉	27～200	0.0224～0.041	−250～650	不燃型，适用范围广，价格低，施工简便，但刺激皮肤
岩棉板	50～200	≤0.048	≤400	
岩棉管壳	80～200	≤0.044	≤400	
矿渣棉	70～200	0.032～0.064	≤600	不燃型，价格低，生产厂家多，填充后易沉陷，施工灰尘大，且刺激皮肤
矿棉保温板	70～330	<0.047	≤400	
矿棉管壳	80～220	0.035～0.052	≤400	
普通超细玻璃棉	≤20	0.041～0.049	−100～400	不燃型，价格低廉，耐酸抗腐，化学稳定性好，寿命长，无毒、无味，施工方便，对皮肤有轻微的刺激性
玻璃棉板	24～96	0.031～0.049	≤300	
玻璃棉管壳	45～90	≤0.043	≤350	

续表

名称	密度（kg/m^3）	导热系数［W/（m·℃）］	适用温度（℃）	主要特性
硬质聚氨酯泡塑制品	40～120	0.023～0.035	-60～110	施工方便，不耐高温，一般适用于65℃以下的低温管道保温，防火性能差，燃烧烟密度较高
发泡橡塑制品	40～120	≤0.043	-40～85	
酚醛泡沫制品	40～120	0.025～0.038	-180～130	难燃型，且燃烧烟密度较小

4. 保护层材料特性

为了保护保温层不被破坏，延长保温结构的使用寿命，取得良好的保温效果，保温层外通常增设一层性能稳定、耐腐蚀的保护层。保护层材料应具有以下特性：

（1）导热系数小，防水性能良好。

（2）密度通常在800～1500kg/m^3范围内，耐压强度不应小于0.8MPa。

（3）在温度变化和振动的情况下，不易开裂。

（4）燃烧性能应与保温材料一致。

（5）外观整齐、美观，施工方便。

常用的保护层材料类型及其特性和适用范围见表11-2。

表11-2　常用的保护层材料类型及其特性和适用范围

保护层种类	特　性	适用范围
金属板保护层	质量小，使用时间长，结构简单，防水性能好，机械强度高，但价格较高。常用的金属保护层有0.40～0.80mm厚的铝合金薄板、0.30～0.50mm厚的不锈钢薄板、0.30～0.70mm厚的镀锌薄钢板、薄铝板以及彩钢板等。在海边有盐雾腐蚀的环境下，采用抗腐蚀性能更高的镀锌铝钢板或镀铝锌钢板	宜用于架空敷设供热管道
玻璃纤维布保护层	容重小，成本低，施工速度快，但玻璃纤维布受日光曝晒易断裂	适用于室内及地沟内的供热管道
油毡玻璃纤维布保护层	油毡起防水作用，外包玻璃纤维布作固定，最外层刷油漆	多用于室外架空敷设供热管道
油毡、铁丝网、沥青胶泥保护层	结构强度高，寿命长，但投资大	适用于室外架空敷设供热管道

二、保温计算

（一）保温计算原则

进行保温计算时应根据工艺要求和技术经济分析选择保温计算公式。当无特殊工艺要求时，保温厚度应采用经济厚度法计算，经济厚度偏小以致散热损失量超过最大允许热损失量时，应采用最大允许热损失量下的保温厚度，且保温结构外表面温度应符合下列要求：

（1）环境温度低于或等于25℃时，设备及管道保温结构外表面温度不应超过50℃。

（2）环境温度高于25℃时，设备及管道保温结构外表面温度不应高于环境温度25℃。

（3）防止人身遭受烫伤的部位，其保温厚度应按表面温度法计算，且保温层外表面的温度不得大于60℃。

（二）保温计算方法

1. 经济厚度计算方法

平面型绝热层经济厚度计算公式为

$$\delta = 1.8975\times10^{-3}\sqrt{\frac{P_E\lambda T|t_0-t_a|}{P_T S}}-\frac{\lambda}{\alpha_s} \qquad (11\text{-}1)$$

圆筒型绝热层经济厚度计算公式为

$$D_1\ln\frac{D_1}{D_0} = 3.795\times10^{-3}\sqrt{\frac{P_E\lambda T|t_0-t_a|}{P_T S}}-\frac{2\lambda}{\alpha_s} \qquad (11\text{-}2)$$

$$\delta = \frac{D_1-D_0}{2} \qquad (11\text{-}3)$$

式中　δ——绝热层经济厚度，m；

D_1——绝热层外径，m；

D_0——管道外径，m；

P_E——热量价格，元/GJ；

λ——绝热材料在平均温度下的导热系数，W/（m·℃）；

T——年运行时间，h；

t_0——设备和管道的外表面温度，℃；

t_a——环境温度，℃；

P_T——绝热结构单位造价，元/m^3；

S——绝热工程投资年摊销率，%；

α_s——绝热层外表面向周围环境的放热系数，W/（m^2·℃）。

2. 最大允许热损失量下的绝热层厚度计算方法

平面型单层最大允许热损失量下的绝热层厚度计算式为

$$\delta = \lambda\left(\frac{t_0-t_a}{[Q]}-\frac{1}{\alpha_s}\right) \qquad (11\text{-}4)$$

圆筒型单层最大允许热损失量下的绝热层厚度计算式为

$$D_1\ln\frac{D_1}{D_0} = 2\lambda\left(\frac{t_0-t_a}{[Q]}-\frac{1}{\alpha_s}\right) \qquad (11\text{-}5)$$

$$\delta = \frac{D_1-D_0}{2}$$

式中 $[Q]$——以每平方米绝热层外表面积为单位的最大允许热损失量，W/m²。

3. 表面温度计算方法

用控制表面温度计算方法计算的平面型绝热层厚度计算式为

$$\delta = \frac{\lambda}{\alpha_s} \times \frac{t_0 - t_s}{t_s - t_a} \tag{11-6}$$

用控制表面温度计算方法计算的圆筒型绝热层厚度计算式为

$$D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{2\lambda}{\alpha_s} \times \frac{t_0 - t_s}{t_s - t_a} \tag{11-7}$$

$$\delta = \frac{D_1 - D_0}{2}$$

式中 t_s——绝热层外表面温度，℃。

（三）保温计算参数取值原则

1. 最大允许散热量

设备及管道的最大允许散热量应满足 GB 50264—2013 中的要求，详见表 11-3。

表 11-3 设备及管道最大允许散热量

设备及管道外表面温度（℃）	最大允许散热量（W/m²）		设备及管道外表面温度（℃）	最大允许散热量（W/m²）	
	季节运行	常年运行		季节运行	常年运行
50	104	52	500	—	236
100	147	84	550	—	251
150	183	104	600	—	266
200	220	126	650	—	283
250	251	147	700	—	297
300	272	167	750	—	311
350	—	188	800	—	324
400	—	204	850	—	338
450	—	220			

2. 设备及管道外表面温度 t_0

（1）当无衬里时，应取介质的长期正常运行温度。

（2）当有内衬时，应按有外保温层存在的条件下进行传热计算确定。

3. 环境温度 t_a

（1）室外保温结构在经济厚度和热损失的计算中，当常年运行时，环境温度 t_a 应取历年的年平均温度的平均值；当供暖季节运行时，应取历年运行期日平均温度的平均值。

（2）室内保温厚度计算和热损失计算中，环境温度 t_a 可取 20℃。

（3）在地沟内保温经济厚度计算和热损失计算中，环境温度 t_a 应根据表 11-4 取值。

表 11-4 环境温度 t_a 取值

外表面温度 t_0（℃）	环境温度 t_a（℃）
80	20
81～110	30
≥110	40

（4）在防止人身烫伤的厚度计算中，t_a 应取历年最热月平均温度值。

4. 绝热层外表面放热系数 α_s

（1）在防烫计算中，取 8.14W/（m²·℃）。

（2）表面散热损失量计算、绝热结构外表面温度计算、现场校核计算以及防冻计算中，绝热层外表面放热系数 α_s 按以下公式计算，即

$$\alpha_s = 1.163 \times (10 + 6\sqrt{v}) \tag{11-8}$$

式中 v——风速，按表 11-5 取值。

表 11-5 v 取值

计算类型	v 取值
表面散热损失量计算	年平均风速
绝热结构外表面温度计算	年平均风速
绝热结构外表面温度现场校核计算	现场实际平均风速

5. 绝热结构的单位造价 P_T 与年运行时间 T

（1）绝热结构的单位造价 P_T。其应包括主材费用、防潮层费、保护层费、包装费、运输费、损耗费和安装（包括辅助材料）费在内的综合实际价格。常用保温材料的单位造价可参考国家建筑标准设计图集 K507-1～2、R418-1～2《管道与设备绝热》（2008 年合订本）选取，见表 11-6。

表 11-6 常用保温材料的单位造价表

序号	绝热材料名称	单价（元/m³）	适用范围	保护层材料
1	闭孔橡塑泡沫	3700	圆管道及设备	—
2	离心玻璃棉制品	1750	圆管道及设备	镀锌薄钢板
3	铝箔复面离心玻璃棉板	1900	风管道	复合铝箔
4	硬质聚氨酯泡沫	2700	圆管道及设备	玻璃钢
5	酚醛泡沫板	2300	风管道	
6	岩棉制品	1500	—	玻璃布
7	聚酚醛泡沫板	2900	风管道	

注 酚醛泡沫板用于风管时，常采用双面压花铝箔酚醛泡沫板制作，这里的单价仅指酚醛泡沫板绝热结构造价。

（2）年运行时间 t。对于常年运行的，年运行时间取 8000h；对于非常年运行的，应按实际运行时间取值。

6. 贷款年分摊率 S

贷款年分摊率计算式为

$$S=\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \tag{11-9}$$

式中　n——还贷年限，一般为 4～10 年；

i——贷款年利率，根据实际情况取值，一般为 5%～10%。

7. 热量价格 P_E

热量价格 P_E 可按照 GB 50264—2013 中相关公式计算。若无条件计算时，可参照表 11-7 取值。

表 11-7　热量价格 P_E

供热方式	热量价格（元/GJ）
工业厂区或产煤区自建燃煤锅炉供热	20
城市集中供热	35
天然气供热	85

（四）保温材料厚度选用表及相关图集

设备与管道的保温层厚度应根据本章第一节（一）（二）“保温计算方法”计算确定，也可根据相关规范图集选用。

1. 常用保温材料厚度选用表

热管道经济绝热层厚度可按表 11-8～表 11-10 选用。热设备绝热层厚度可按最大口径管道的绝热层厚度再增加 5mm 选用。

表 11-8　室内热管道柔性泡沫橡塑经济绝热层厚度（热量价格 85 元/GJ）

最高介质温度（℃）	绝热层厚度（mm）						
	25	28	32	36	40	45	50
60	≤DN20	DN25～DN40	DN50～DN125	DN150～DN400	≥DN450	—	—
80			≤DN32	DN40～DN70	DN80～DN125	DN150～DN450	≥DN500

表 11-9　热管道离心玻璃棉经济绝热层厚度（热量价格 35 元/GJ）

最高介质温度（℃）		绝热层厚度（mm）								
		25	30	35	40	50	60	70	80	90
室内	60	≤DN40	DN50～DN125	DN150～DN1000	≥DN1100	—	—	—	—	—
	80	—	≤DN32	DN40～DN80	DN100～DN250	≥DN300	—	—	—	—
	95	—	—	≤DN40	DN50～DN100	DN125～DN1000	≥DN1100	—	—	—
	140	—	—	—	≤DN25	DN32～DN80	DN100～DN300	≥DN350	—	—
	190	—	—	—	—	≤DN32	DN40～DN80	DN100～DN200	DN250～DN900	≥DN1000
室外	60	—	≤DN40	DN50～DN100	DN125～DN450	≥DN500	—	—	—	—
	80	—	—	≤DN40	DN50～DN100	DN125～DN1700	≥DN1800	—	—	—
	95	—	—	≤DN25	DN32～DN50	DN70～DN250	≥DN300	—	—	—
	140	—	—	—	≤DN20	DN25～DN70	DN80～DN200	DN250～DN1000	≥DN1100	—
	190	—	—	—	—	≤DN25	DN32～DN70	DN80～DN150	DN200～DN500	≥DN600

表 11-10　热管道离心玻璃棉经济绝热层厚度（热量价格 85 元/GJ）

最高介质温度（℃）		绝热层厚度（mm）								
		40	50	60	70	80	90	100	120	140
室内	60	≤DN50	DN70～DN300	≥DN350	—	—	—	—	—	—

续表

最高介质温度（℃）		绝热层厚度（mm）								
		40	50	60	70	80	90	100	120	140
室内	80	≤DN20	DN25～DN70	DN80～DN200	≥DN250	—	—	—	—	—
	95	—	≤DN40	DN50～DN100	DN125～DN300	DN350～DN2500	≥DN3000	—	—	—
	140	—	—	≤DN32	DN40～DN70	DN80～DN150	DN200～DN300	DN350～DN900	≥DN1000	—
	190	—	—	—	≤DN32	DN40～DN50	DN70～DN100	DN125～DN150	DN200～DN700	≥DN800
室外	60	—	≤DN80	DN100～DN250	≥DN300	—	—	—	—	—
	80	—	≤DN40	DN50～DN100	DN125～DN250	DN300～DN1500	≥DN2000	—	—	—
	95	—	≤DN25	DN32～DN70	DN80～DN150	DN200～DN400	DN500～DN2000	≥DN2500	—	—
	140	—	—	≤DN25	DN32～DN50	DN70～DN100	DN125～DN200	DN250～DN450	≥DN500	—
	190	—	—	—	≤DN25	DN32～DN50	DN70～DN80	DN100～DN150	DN200～DN450	≥DN500

注 1. 按经济厚度计算，还贷期6年，利息10%，使用期120d（2880h）。

2. 柔性泡沫橡塑导热系数按下式计算，即

$$\lambda=0.034+0.00013t_m$$

式中 λ——导热系数，W/（m·℃）；

t_m——绝热层平均温度，℃。

3. 离心玻璃棉导热系数按下式计算，即

$$\lambda=0.031+0.00017t_m$$

4. 室内环境温度为20℃，风速为0m/s。

5. 室外环境温度为0℃，风速为3m/s；当室外温度非0℃时，实际采用的绝热厚度按下式修正，即

$$\delta'=[(t_0-t_w)/t_a]^{0.36}\delta$$

式中 δ——室外环境温度0℃时的查表厚度，mm；

t_0——管内介质温度，℃；

t_w——实际使用期室外平均环境温度，℃。

6. 热量价格35元/GJ相当于城市供热，热量价格85元/GJ相当于天然气供热。

当选用其他保温材料或其导热系数与表11-8～表11-10中的值差异较大时，保温厚度应按下式修正，即

$$\delta'=\frac{\lambda'_m\delta}{\lambda_m} \tag{11-10}$$

式中 δ'——修正后的保温层厚度，mm；

λ'_m——实际选用的保温材料在其平均使用温度下的导热系数，W/（m·℃）；

δ——表11-8～表11-10中的保温层厚度，mm；

λ_m——表11-8～表11-10中柔性泡沫橡塑及离心玻璃棉在其平均使用温度下的导热系数，W/（m·℃）。

2. 设备及管道绝热相关图集

当保温材料为闭孔橡塑泡沫、硬质聚氨酯泡沫、离心玻璃棉、岩棉、矿渣棉、憎水性膨胀珍珠岩或硅酸铝棉时，保温层厚度也可从K507-1～2、R418-1～2选用。

三、常用管道保温结构

（1）设备与管道保温结构应符合下列要求：

1）管道和支架之间，管道穿墙、穿楼板处应设置防止“热桥”措施。

2）保温材料外表面应设保护层，保护层接缝处应采取防止雨水进入的措施。

（2）常用保温结构。图11-1所示为金属、玻璃钢及铝箔玻璃钢薄板外保护层管道保温结构，是室外架空管道保温结构的主要形式，也常用于室内管道保温。在某些保温工程中需考虑管道的伸缩，需采取相应措施，如断面A-A（2）所示，图中长度l由管道伸缩量决定。水平管道采用缝毡保温时，其管顶应预先敷设一层10～30mm厚棉毡，宽度为周长的1/3，然后包缝毡，如图11-1（a）所示。

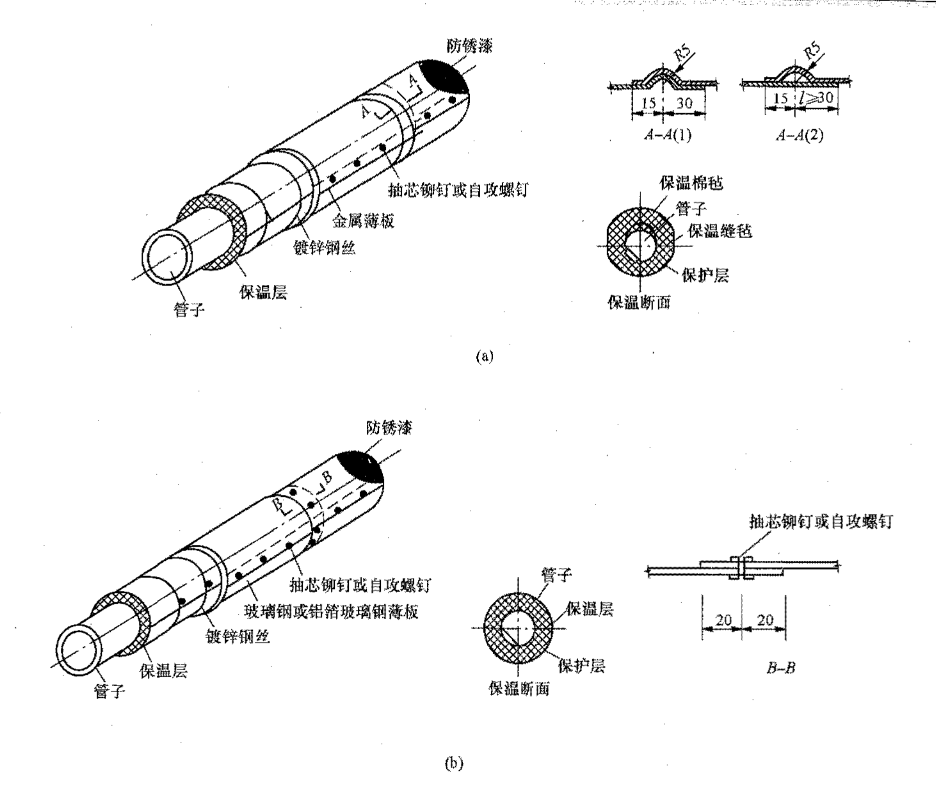


图 11-1　金属、玻璃钢及铝箔玻璃钢薄板外保护层管道保温结构图

（a）管道保温结构①；（b）管道保温结构②

图 11-2 为复合包扎涂抹外保护层管道保温结构图。采用复合铝箔作为保护层时，宜选用带有复合铝箔贴面的保温材料制品。图 11-2（a）和图 11-2（b）两种结构形式常用于室内架空管道保温；图 11-2（c）和图 11-2（d）两种结构形式常用于室外地沟及潮湿环境下的管道保温。

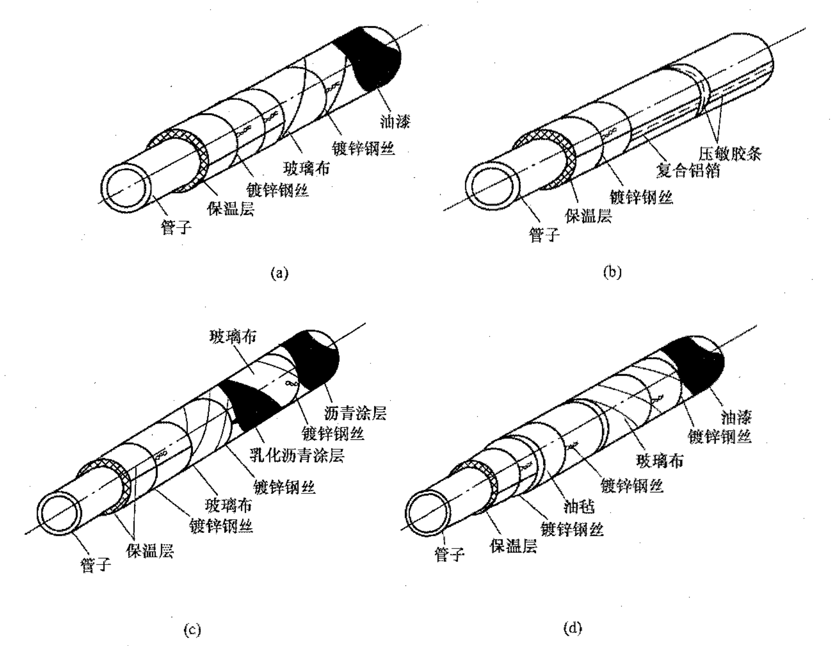


图 11-2　复合包扎涂抹外保护层管道保温结构图

（a）玻璃布+油漆作保护层；（b）复合铝箔作保护层；（c）玻璃布+沥青涂层作保护层；（d）油毡+玻璃布+沥青涂层作保护层

直埋管是由钢管、聚氨酯硬质泡沫保温层和高密度聚乙烯外护管紧密结合的预制管。保温层内可设置报警线和支架。直埋管保温结构如图 11-3 所示。直埋管道宜工厂化生产。

阀门及法兰保温结构如图 11-4 所示。其保温层厚度与连接管道保温厚度相同。不可拆式法兰、阀门保温用于室外或地沟时，其保护层做法应与室外或地沟管道保护层做法相同。

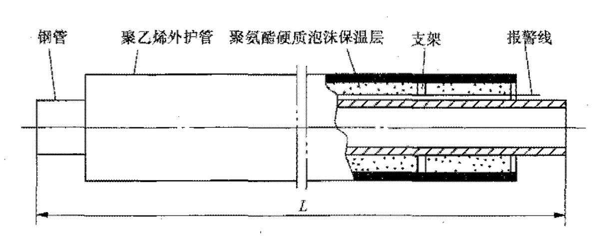


图 11-3　直埋管道保温结构

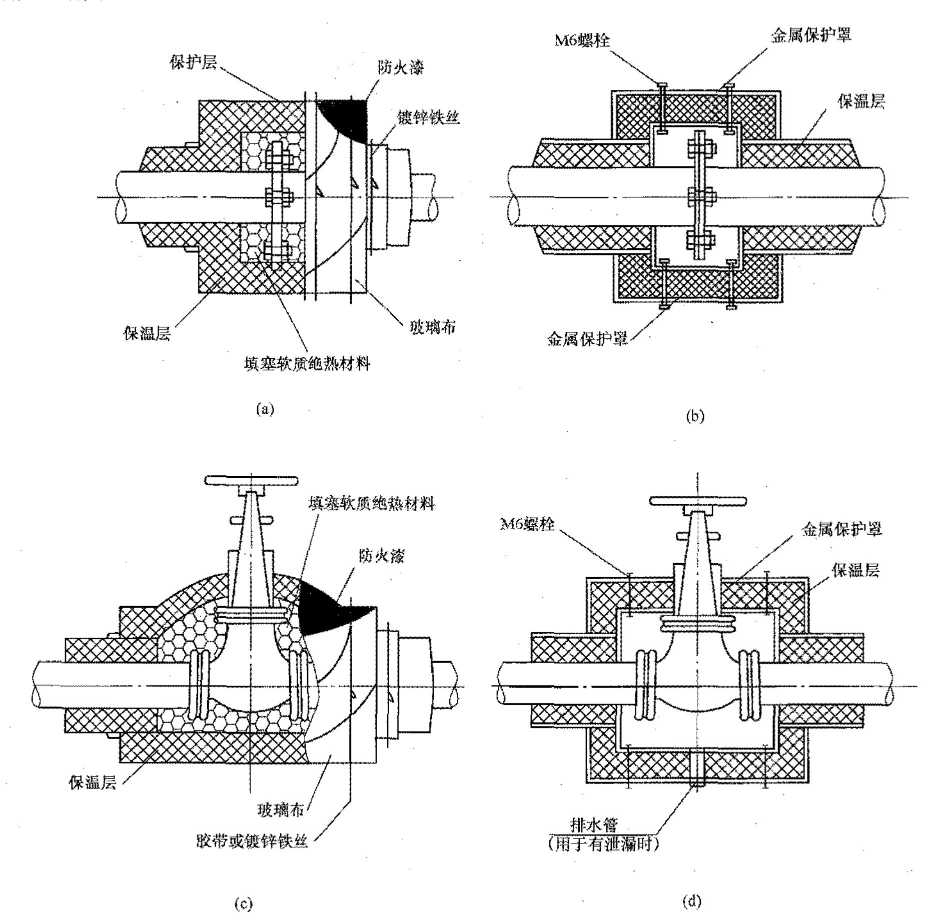


图 11-4　阀门及法兰保温结构图

（a）不可拆式法兰保温；（b）可拆式法兰保温；（c）不可拆式阀门保温；（d）可拆式阀门保温

第二节　保　　冷

一、概述

（1）管道与设备保冷主要有以下三个目的：

1）防止介质温度过度升高，保证用户端的介质温度满足使用要求。

2）减少冷损失，节约能源，以提高经济效益。

3）满足职业卫生安全要求，防止管道与设备表面结露，以免滋生细菌。

（2）具备下列情形之一的设备、管道及其附件、阀门等均应保冷：

1）冷介质温度低于常温，需要减少设备与管道的冷损失时。

2）为防止冷介质温度低于常温的设备和管道外表面结露时。

3）需要减少冷介质在生产和输送过程中的温升或汽化时，保证用户端的介质温度满足使用要求。

4）设备和管道不保冷时，散发冷量会对房间温度、湿度参数产生不利影响或不安全因素。

（3）保冷材料通常应具备以下特性：

1）最低安全使用温度应低于正常运行时介质的最低温度。

2）冷水管道保冷宜用不燃材料，确有困难时，可采用燃烧产物毒性小且烟密度不大于 50 的难燃材料。风管保冷应用不燃材料，不允许采用难燃材料。

3）吸湿率要低，一般要求不大于 3.3%（质量分数）。

4）含水率要小，一般要求不大于 1%（质量分数）。

5）泡沫塑料及其制品 25℃时导热系数应不大于 0.044W/（m・℃），0℃时导热系数应不大于 0.036W/（m・℃）；泡沫玻璃及其制品 25℃时导热系数应不大于 0.064W/（m・℃）。

6)应具有良好的化学稳定性，不腐蚀设备及管道。

7）密度要低，但应具有一定的机械强度：有机硬质成型制品大于或等于 0.15MPa，无机硬质成型制品大于或等于 0.3MPa。

8）易于施工，具有较高的综合经济效益。

9）优先选用闭孔型材料和对异形部位保冷简便的材料。

10）经综合经济比较后，可选用复合绝热材料。

在电厂中，需要保冷的设备及管道通常有冷水系统中的冷水循环泵、集/分水器、冷水管、冷凝水管、集中空调及降温通风系统的送回风管等。

常用保冷材料有发泡橡塑制品、硬质聚氨酯泡沫制品、酚醛泡沫制品及聚苯乙烯泡塑制品等，其主要技术性能见表 11-1。更多保冷材料及其制品的物理性能和化学性能要求参见 GB 50264—2013。

为保护保冷层不被破坏，延长保冷结构的使用寿命，取得良好的保冷效果，保冷层外通常增设一层性能稳定、耐腐蚀、防水防潮、强度高、寿命长的保护层。保护层材料的燃烧性能应与保冷材料一致。此外，保护层材料还应满足施工方便、外观整齐美观等要求。对明装水管，保护层常采用镀锌钢板、彩钢板或薄铝板；对明装风管，保护层常采用薄铝板。对暗装管道，保护层可采用帆布或玻璃丝布。对于室外管道，保护层推荐采用彩钢板或不锈钢薄板。在海边有盐雾腐蚀的环境下，保护层采用抗腐蚀性能更高的镀锌铝钢板或镀铝锌钢板。

当采用非闭孔材料保冷时，保冷层外表面与保护层之间应设隔汽层。

二、保冷计算

（一）保冷计算原则

由于我国幅员辽阔，各地相对湿度差别很大，不能单一地采用某一种方法计算保冷厚度，应综合考虑最大允许冷损量、保冷层表面温度及保冷经济性等因素。因此，当无特殊工艺要求时，应分别计算最大允许冷损量下的保温厚度、经济厚度及防结露绝热层厚度，取三者中的最大值作为保冷厚度。

冷热合用管道的绝热厚度应按冷热介质温度分别确定冷热工况下的绝热厚度，选用较大值。

室内空调风管绝热层最小热阻可按表 11-11 选用。

表 11-11 室内空调风管绝热层最小热阻

风管类型	适用介质温度（℃）		最小热阻 R [（m^2・℃）/W]
	冷介质最低温度	热介质最高温度	
一般空调风管	15	30	0.81
低温风管	6	39	1.14

注 1. 室内环境温度：供冷风时，26℃；供热风时，20℃。
2. 冷量价格 75 元/GJ，热量价格 85 元/GJ。

（二）保冷计算方法

本章第一节中的二（二）1. 经济厚度计算方法，2.最大允许热损失量下的保温厚度计算方法均适用于保冷工程中绝热层厚度计算，此处仅补充防结露绝热层厚度计算方法。

平面型单层防结露绝热层厚度计算公式为

$$\delta=\frac{k\lambda}{\alpha_s}\cdot\frac{t_s-t_0}{t_a-t_s} \tag{11-11}$$

式中 k——保冷修正系数。

圆筒型单层防结露绝热层厚度计算公式为

$$D_1\ln\frac{D_1}{D_0}=\frac{2\lambda}{\alpha_s}\cdot\frac{t_s-t_0}{t_a-t_s} \tag{11-12}$$

$$\delta=k\frac{D_1-D_0}{2} \tag{11-13}$$

（三）保冷计算参数选择

1. 最大允许冷损失量

当 $t_a-t_d\leqslant4.5$ 时为

$$[Q]=-(t_a-t_d)\cdot\alpha_s \tag{11-14}$$

当 $t_a-t_d>4.5$ 时为

$$[Q]=4.5\alpha_s \tag{11-15}$$

式中 t_d——当地气象参数下最热月露点温度，℃。

2. 环境温度 t_a

（1）进行防结露绝热层厚度计算和最大允许冷损失下的绝热层厚度计算时，环境温度 t_a 应取夏季空气调节室外计算干球温度。

（2）进行经济厚度计算时，t_a 应取运行期日平均温度的平均值。

（3）表面温度和热损失量的计算中，t_a 取厚度计算时的对应值。

3. 露点温度 t_d

露点温度 t_d 为夏季空气调节室外计算干球温度和最热月月平均相对湿度对应的露点温度。夏季空气调节室外计算干球温度和最热月月平均相对湿度可在 GB 50264—2013 表 C.0.2 中查得。

4. 绝热层外表面放热系数 α_s

（1）在防结露绝热层厚度和最大允许冷损失下的绝热层厚度计算中，取 8.141W/（m^2·℃）。

（2）在经济厚度计算中，绝热层外表面放热系数 α_s 按以下公式计算，即

并排敷设时为

$$\alpha_s = 7 + 3.5\sqrt{v} \tag{11-16}$$

单根敷设时为

$$\alpha_s = 11.63 + 7\sqrt{v} \tag{11-17}$$

式中　v——历年年平均风速，m/s。

5. 冷量价格 P_E

冷量价格 P_E 可按照 GB 50264—2013 中相关公式计算。若无条件计算时，电制冷系统的冷量价格可按 75 元/GJ 参照取值。

6. 保冷修正系数 k

随使用时间的延长，保冷材料会出现一定的老化及吸湿，导致保冷效果下降。因此，保冷厚度需考虑一定的修正系数。不同保温材料的保冷修正系数 k 按表 11-12 取值。

表 11-12　不同保温材料的保冷修正系数 k

材料	修正系数 k
聚苯乙烯	1.2～1.4
聚氨酯	1.2～1.4
聚异氰脲酸酯	1.2～1.35
泡沫玻璃	1.1～1.2
泡沫橡塑	1.2～1.4
酚醛	1.2～1.4

7. 其他参数

年运行时间、绝热结构单位造价 P_T 及贷款年分摊率 S 取值同保温工程计算取值。

（四）保冷材料厚度选用表及相关图集

设备与管道的保冷厚度应根据“保冷计算方法”计算确定，也可根据相关规范图集选用。

1. 常用保冷材料厚度选用表

室内空调冷水管道最小绝热厚度可按表 11-13、表 11-14 选用；蓄冷设备保冷厚度可按对应介质温度最大口径管道的保冷厚度再增加 5～10mm 选用。

表 11-13　室内空调冷水管道最小绝热层厚度（介质温度≥5℃）　（mm）

地区	柔性泡沫橡塑		玻璃棉管壳	
	管径	厚度	管径	厚度
较干燥地区	≤DN40	19	≤DN32	25
	DN50～DN150	22	DN40～DN100	30
	≥DN200	25	DN125～DN900	35
较潮湿地区	≤DN25	25	≤DN25	25
	DN32～DN50	28	DN32～DN80	30
	DN70～DN150	32	DN100～DN400	35
	≥DN200	36	≥DN450	40

表 11-14　室内空调冷水管道最小绝热层厚度（介质温度≥-10℃）　（mm）

地区	柔性泡沫橡塑		聚氨酯发泡	
	管径	厚度	管径	厚度
较干燥地区	≤DN32	28	≤DN32	25
	DN40～DN80	32	DN40～DN150	30
	DN100～DN200	36	≥DN200	35
	≥DN250	40	—	—
较潮湿地区	≤DN50	40	≤DN50	35
	DN70～DN100	45	DN70～DN125	40
	DN125～DN250	50	DN150～DN500	45
	DN300～DN2000	55	≥DN600	50
	≥DN2100	60	—	—

注　1. 按同时满足经济厚度和防结露要求计算绝热厚度。冷量价格为 75 元/GJ，还贷期为 6 年，利息为 10%，使用期为 120d（2880h）。

2. 柔性泡沫橡塑、离心玻璃棉导热系数应按下式计算，即

$$\lambda=0.034+0.00013t_m$$

聚氨酯发泡导热系数应按下式计算，即

$$\lambda=0.0275+0.00009t_m$$

式中　t_m——绝热层平均温度，℃。

3. 较干燥地区，指室内机房环境温度不高于 31℃、相对湿度不大于 75%；较潮湿地区，指室内机房环境温度不高于 33℃、相对湿度不大于 80%；各城市或地区可对照使用。

当选用其他保冷材料或其导热系数与表 11-13、表 11-14 中的值差异较大时，保冷厚度应进行修正。

2. 设备及管道绝热相关图集

当保冷材料为闭孔橡塑泡沫、硬质聚氨酯泡沫、离心玻璃棉时，保冷厚度也可从国家标准设计图集 K507-1～2、R418-1～2 中选用。

（五）区域供冷管网保冷计算

与厂内供冷管网相比，区域供冷管网具有输送半径大、流量波动大等特点。控制冷媒在输送过程中的温升及冷损、保证到达用户的冷媒满足使用要求是区

域供冷管网保冷计算的首要任务。

冷媒在输送过程中的温升及冷损包括水泵引起的温升及冷损和管道温升及冷损，其值与负荷率、供冷距离、水泵功率、管道敷设方式、管壁热阻、保温热阻、土壤热阻等诸多因素有关。根据研究表明，在同样规格的管道内，流量越小，流速越低，冷损越大；且供水管的温升及冷损比回水管的温升及冷损大。因此，基于区域供冷管网流量波动大的特点，在核算管道温升及冷损时，应考虑一定的负荷率。DL/T 5508—2015《燃气分布式供能站设计规范》规定：供冷半径小于或等于 2km。在规范规定的供冷半径范围内，区域供冷管网供回水平均冷损率宜满足表 11-15 的要求。

表 11-15　　冷　损　率　　（%）

负荷率	供冷半径 1km 冷损率	供冷半径 2km 冷损率
10	1～5	3～9.5
100	0.5～2	1～5

注　输送冷量大，冷损率取下限值；输送冷量小，冷损率取上限值。

区域供冷管网有管架、直埋、管沟等敷设方式。管道冷损计算方式因敷设方式不同而存在差异。直埋方式冷损失计算内容包括管壁热阻、保温热阻、土壤热阻、附加热阻以及该类热阻带来的冷损失量和温升；管沟方式冷损失计算内容包括管壁热阻、保温热阻、保温外壁与管沟空气换热热阻、单根管道与管沟空气换热热阻、管沟空气与沟内壁换热热阻、土壤热阻、地面空气至管沟空气传热热阻以及该类热阻带来的冷损失量和温升。

三、常用管道保冷结构

管道与设备的保冷结构应符合下列要求：

（1）保冷层外表面不得有冷凝水产生。

（2）冷管道与托架之间应采用绝热型支架，防止产生“冷桥”。

（3）采用非闭孔材料保冷时，外表面必须设隔汽层和保护层；采用闭孔材料保冷时，外表面应设保护层。

（4）防潮层可采用阻燃型聚乙烯薄膜、复合铝箔。

图 11-5 所示为金属外保护层管道保冷结构，保护层为镀锌钢板或铝合金板，适用于室内、外架空管道保冷。当管道坡度较大时，可在环向搭接处设 S 形托板，如图 11-5（b）和断面 B-B 所示。每道环向缝不得少于 2 块，托板材料与金属保护层相同。图 11-5（a）和图 11-5（b）所示保冷结构适用于介质温度为−20～5℃的管道保冷；图 11-5（c）所示保冷结构适用于介质温度为 6～20℃的管道保冷。

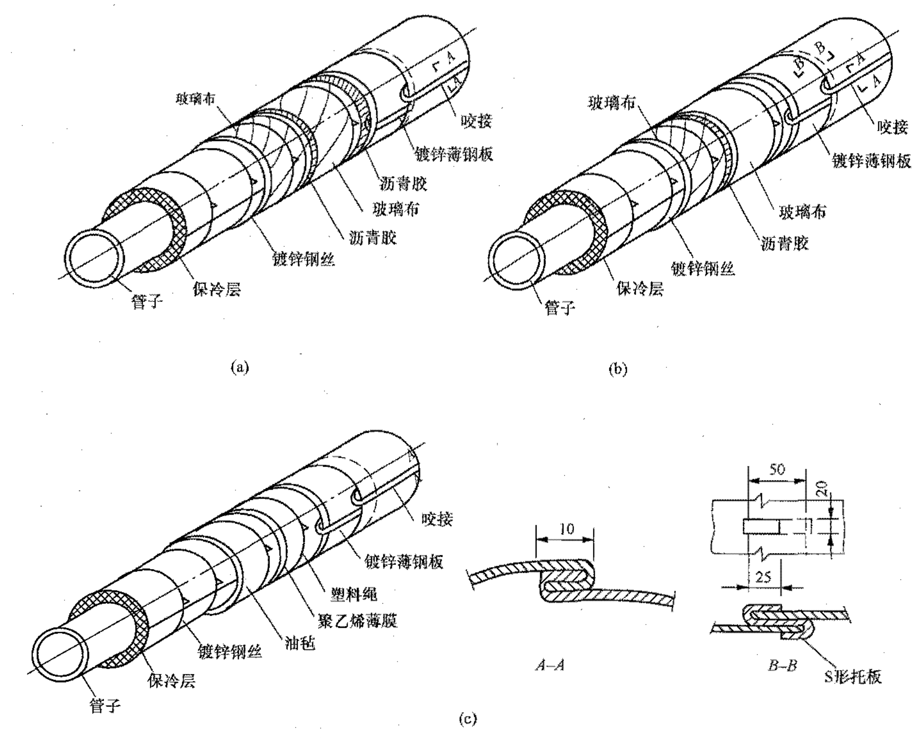


图 11-5　金属外保护层管道保冷结构图

（a）金属外保护层做法①；（b）金属外保护层做法②；（c）金属外保护层做法③

图 11-6 所示为复合外保护层管道保冷结构，保护层为玻璃布或复合铝箔。采用复合铝箔作为保护层时，

宜采用带有复合铝箔贴面的保冷材料制品。图 11-6(a)和图 11-6（b）所示保冷结构适用于室内架空管道保冷；图 11-6（c）所示保冷结构适用于室外、地沟或室内较潮湿的环境下的管道保冷。

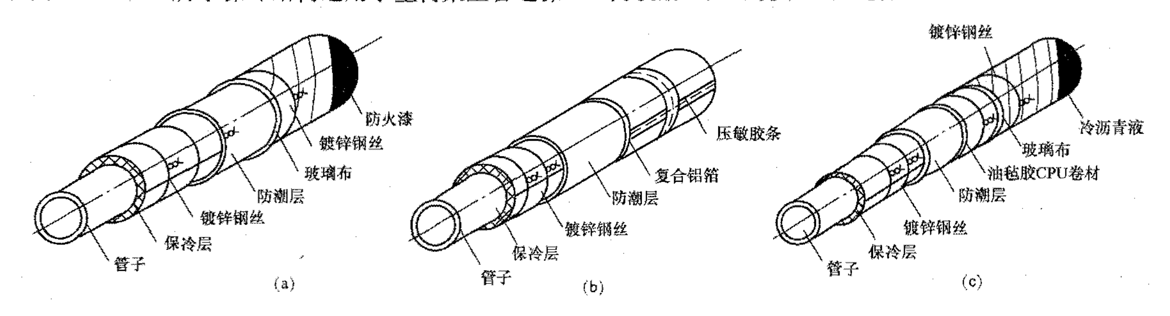
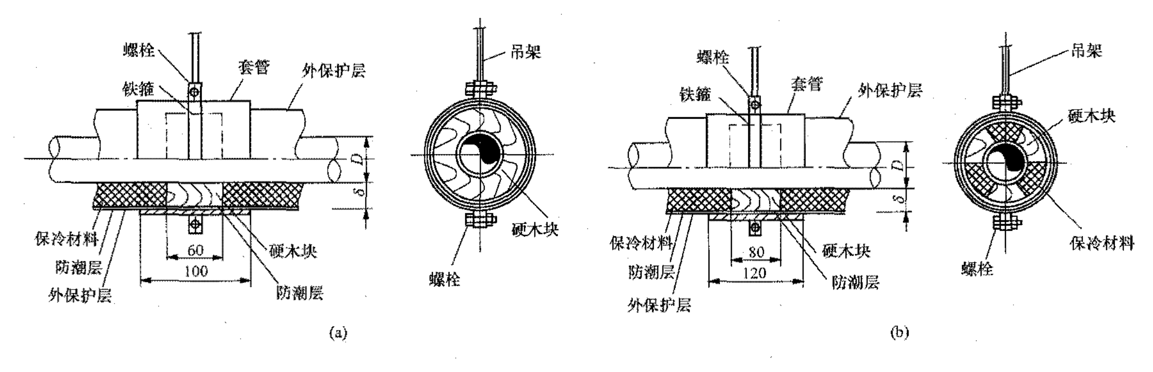


图 11-6　复合外保护层管道保冷结构图

（a）复合外保护层做法①；（b）复合外保护层做法②；（c）复合外保护层做法③

为防止管道和支吊架之间产生“冷桥”，通常的做法是，在管道支吊架的罐扎与管道固定时，内填木质管环。水管道及矩形风管防“冷桥”做法如图 11-7、图 11-8 所示。



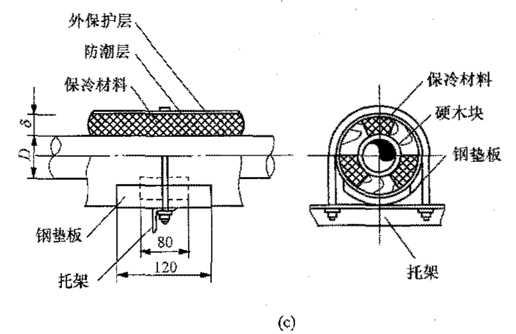


图 11-7　水管道防“冷桥”做法示意图

（a）用于公称直径小于或等于 100mm 的管道；（b）用于公称直径大于 100mm 的管道；（c）支架防“冷桥”做法

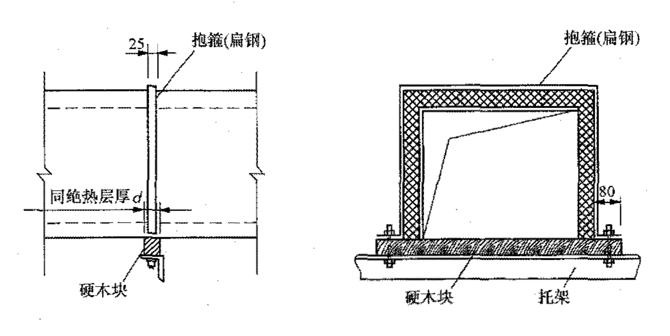


图 11-8　矩形风管防“冷桥”做法示意图

法兰、阀门保冷结构如图 11-9 所示，其材料及厚度应与连接管道保冷的材料及厚度一致。

矩形风管保冷结构如图 11-10 所示。保冷层宜采用缝毡或板类保冷材料，拐角设包角。矩形风管水平架设在室外时，其顶面应垫成坡度 i 为 0.05 的斜坡。

图 11-9　法兰、阀门保冷结构图

（a）可拆式法兰保冷结构；（b）不可拆式法兰保冷结构；（c）可拆式阀门保冷结构；（d）不可拆式阀门保冷结构

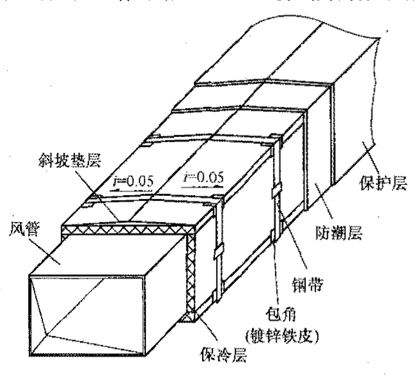


图 11-10　矩形风管保冷结构图

第十二章

供暖通风与空气调节系统防火及建筑防烟排烟

第一节　防　　火

一、火力发电厂建筑的火灾危险性划分

（一）火力发电厂厂房的火灾危险性划分

火力发电厂的生产厂房需依据其火灾危险性来划分等级。厂房的火灾危险性是根据生产中使用或产生的物质性质及其数量等因素划分的，可分为甲、乙、丙、丁、戊类。根据 GB 50016—2014 和 GB 50229—2006 的规定以及火力发电厂各生产工艺特点及其建筑特性，主要厂房的火灾危险性划分见表 12-1。

表 12-1　火力发电厂主要厂房的火灾危险性划分

生产的火灾危险性类别	使用或产生下列物质生产的火灾危险性特征	火力发电厂相关建筑
甲类厂房	（1）闪点小于 28℃的液体	
	（2）爆炸下限小于 10%的气体	供氢站、制氢站、乙炔站、天然气调压站
	（3）常温下能自行分解或在空气中氧化导致迅速自燃或爆炸的物质	
	（4）常温下受到水或空气中水蒸气的作用能产生可燃气体并引起燃烧或爆炸的物质	
	（5）遇酸、受热、撞击、摩擦、催化以及遇有机物或硫磺等易燃的无机物，极易引起燃烧或爆炸的强氧化剂	
	（6）受撞击、摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质	
	（7）在密闭设备内操作温度不小于物质本身自燃点的生产	
乙类厂房	（1）闪点不小于 28℃，但小于 60℃的液体	
	（2）爆炸下限不小于 10%的气体	氨压缩机房、氨气化间
	（3）不属于甲类的氧化剂	
	（4）不属于甲类的易燃固体	
	（5）助燃气体	氧气站
	（6）能与空气形成爆炸性混合物的浮游状态的粉尘、纤维、闪电不小于 60℃液体雾滴	
丙类厂房	（1）闪点不小于 60℃的液体	油浸变压器室及其检修间、油处理室、油泵房（柴油、重油、渣油）、屋内配电装置室（每台装油量大于 60kg 的设备）、电缆隧道、柴油发电机室、尿素车间等
	（2）可燃固体	翻车机室、卸煤沟、碎煤机室、转运站、运煤栈桥和地道、筒仓、解冻库、室内储煤场等
丁类厂房	（1）对不燃烧物质进行加工，并在高温或融化状态下经常产生强辐射热、火花或火焰的生产	
	（2）利用气体、液体、固体作为燃料或将气体、液体进行燃烧作其他用的各种生产	主厂房（汽机房、除氧间、集中控制楼、煤仓间、锅炉房）、燃机厂房、余热锅炉、启动锅炉房等

续表

生产的火灾危险性类别	使用或产生下列物质生产的火灾危险性特征	火力发电厂相关建筑
丁类厂房	（3）常温下使用或加工难燃烧物质的生产	引风机室、电气控制楼、脱硫控制楼、推煤机库、屋内配电装置室（每台装油量小于或等于60kg的设备）、空气压缩机室（有润滑油）、氨区控制室、热工/电气/金属试验室等
戊类厂房	常温下使用或加工不燃烧物质的生产	除油泵房以外的各类泵房、水处理室、脱硫工艺楼、运石灰石建筑、灰库、空气压缩机室（无润滑油或不喷油螺杆式）、增压风机室、检修车间、天桥、一般材料库等

从表12-1可以看出，火力发电厂中属于甲类厂房的建筑有制氢站、供氢站、乙炔站及天然气调压站等，属于乙类厂房的建筑有氧气站、卸氨压缩机室、氨气化间等。运煤建筑和油处理建筑属于丙类厂房，主厂房和电气控制楼建筑属于丁类厂房。

闪点小于60℃且大于或等于55℃的轻柴油，当储罐操作温度小于或等于40℃时，其火灾危险性可视为丙类，因此柴油发电机室及油处理建筑一般被划分为丙类建筑。当储罐操作温度高于40℃时，应划为乙类建筑。

（二）火力发电厂仓库的火灾危险性划分

火力发电厂仓库需依据其火灾危险性来划分等级。仓库的火灾危险性应根据储存物品的性质和储存物品中的可燃物数量等因素划分，可分为甲、乙、丙、丁、戊类。根据GB 50016—2014和GB 50229—2006的规定以及火力发电厂仓储建筑特性，仓库的火灾危险性判定依据见表12-2。

表12-2　火力发电厂主要仓库的火灾危险性划分

储存物品的火灾危险性类别	储存物品的火灾危险性特征	火力发电厂相关储存物品
甲类仓库	（1）闪点小于28℃的液体	汽油、甲醇、乙醇、乙醚等
	（2）爆炸下限小于10%的气体，受到水或空气中水蒸气的作用能产生爆炸下限小于10%气体的固体物质	乙炔、氢、甲烷、液化石油气
	（3）常温下能自行分解或在空气中氧化能导致迅速自燃或爆炸的物质	
	（4）常温下受到水或空气中水蒸气的作用，能产生可燃气体并引起燃烧或爆炸的物质	
	（5）遇酸、受热、撞击、摩擦以及遇有机物或硫磺等易燃的无机物，极易引起燃烧或爆炸的强氧化剂	
	（6）受撞击、摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质	
乙类仓库	（1）闪点不小于28℃，但小于60℃的液体	溶剂油
	（2）爆炸下限不小于10%的气体	氨气
	（3）不属于甲类的氧化剂	
	（4）不属于甲类的易燃固体	
	（5）助燃气体	氧气
	（6）常温下与空气接触能缓慢氧化，积热不散引起自燃的物品	漆布、油布、油纸
丙类仓库	（1）闪点不小于60℃的液体	沥青、润滑油、机油、重油、闪点大于或等于60℃的柴油等
	（2）可燃固体	
丁类仓库	难燃烧物品	
戊类仓库	不燃烧物品	钢材、铝材、不燃气体、玻璃棉、岩棉、矿棉、石膏、水泥、石、膨胀珍珠岩

由表12-2可以看出，火力发电厂建筑中属于甲类仓库的有储氢罐间。当特种材料库储存氢、氧或乙炔时，火灾危险性应按照储存火灾危险性较大的物品确定。

明确火力发电厂建筑的火灾危险性划分，对于供暖通风设计是非常重要的。尤其对于甲、乙类厂房及仓库，供暖通风系统设计均有保证其安全性的强制条款。火灾危险性划分是由建筑专业根据建筑使用及生产的火灾危险性特征进行的，暖通专业应依照建筑专业的划分来界定设计中应遵循的规定。

二、供暖系统的防火

（一）供暖方式

1. 甲、乙类厂房（仓库）供暖的防火

GB 50016—2014第9.2.2条规定：“甲、乙类厂房

（仓库）内严禁采用明火和电热散热器供暖。”

火力发电厂制氢站、供氢站、天然气调压站、供氧站等甲、乙类厂房及储氢罐间等甲、乙类仓库严禁采用明火和电热散热器供暖。供暖管道及散热器与各种储气罐的距离不宜小于1m，不能满足要求时应采取隔热措施。

2. 蓄电池室供暖系统的防火

火力发电厂常用的蓄电池一般为防酸隔爆式蓄电池和阀控密闭式（免维护）蓄电池，防酸隔爆式蓄电池在充电和放电时会持续产生少量氢气，阀控密闭式蓄电池虽然在正常工作时不会产生氢气，但在过充时会有少量氢气析出，因此蓄电池室严禁明火供暖。当采用热水或蒸汽供暖系统时，蓄电池室内不允许设置阀门，管道连接应采用焊接，不允许采用丝扣连接或法兰连接。散热器与蓄电池之间的距离不应小于0.75m。

3. 供（卸）油泵房、油处理室、汽车库供暖系统的防火

供（卸）油泵房、油处理室等油系统建筑及汽车库、柴油发电机室及其油箱间等建筑在正常生产运行中可能会产生油气，室内禁止明火供暖。

（二）供暖热媒参数

运煤建筑内煤尘较多，室内禁止采用明火供暖。运煤建筑供暖热媒宜采用温度不高于130℃的热水。当严寒地区或寒冷地区运煤建筑采用蒸汽作为热媒时，其散热器表面平均温度不应超过130℃，并应选用表面光洁易清扫的散热设备，以防止沉积的煤尘自燃。

（三）供暖管道及保温材料的防火

（1）供暖系统的热水或蒸汽管道不应穿过变压器室、配电装置室等电气设备间。

（2）供暖管道穿越防火墙时应预埋钢制套管，管道与套管之间的空隙应采用柔性耐火材料封堵，并在穿墙处设置固定支架。

（3）室内布置的供暖系统的管道、管件和保温材料应采用不燃材料。

（4）供暖管道与可燃物之间应保持一定距离，并应符合下列规定：

1）当供暖管道的表面温度大于100℃时，不应小于100mm或采用不燃材料隔热。

2）当供暖管道的表面温度不大于100℃时，不应小于50mm或采用不燃材料隔热。

三、通风与空气调节系统防火

（一）含有易燃易爆危险物质的房间通风系统的防火

（1）GB 50016—2014第9.1.2条规定：“甲、乙类厂房内的空气不应循环使用。丙类厂房内含有燃烧或爆炸危险粉尘、纤维的空气，在循环使用前应经净化处理，并应使空气中的含尘浓度低于其爆炸下限的25%。”

火力发电厂的氢气站、供氢站、供氧站、乙炔站及天然气调压站等甲、乙类厂房应设置直流式通风系统，空气不允许再循环。以上建筑都不应采用暖风机作为供暖设施。

运煤建筑属于含有可燃煤尘的丙类建筑，煤尘的爆炸下限浓度一般在30～50g/m³之间，因此当运煤建筑需要室内空气循环使用时，必须将此部分空气净化处理至含尘浓度低于其爆炸下限的25%。不同煤尘的爆炸下限浓度特性见表12-3。当采用无烟煤时可不受此条款限制。

表12-3　　煤尘的燃烧爆炸特性表

序号	煤尘名称	高温表面堆积粉尘层（5mm）的引燃温度（℃）	粉尘云的引燃温度（℃）	爆炸下限浓度（g/m³）	粉尘平均粒径（μm）
1	泥煤粉（堆积）	260	450	—	60～90
2	褐煤粉（生褐煤）	260	450	49～68	2～3
3	有烟煤粉	235	595	41～57	5～11
4	焦炭用煤粉	280	610	33～45	5～10
5	贫煤粉	285	680	34～45	5～7
6	无烟煤粉	大于430	大于600	—	100～130
7	褐煤焦炭粉	235	—	—	4～5

严寒地区的翻车机室重车线入口和空车线出口必要时可设置大门热风幕，虽然热风幕使大门局部空气再循环，但由于翻车作业在中间部位，并设有抑尘措施，同时地下排风系统启动，大门处冷空气直接由室外吹进，是室内空气含尘浓度最小的区域，接近于室外空气含尘浓度，远低于煤尘爆炸下限浓度的25%。

（2）GB 50016—2014第9.1.3条规定：“为甲、乙类厂房服务的送风设备与排风设备应分别布置在不同通风机房内，且排风设备不应和其他房间的送、排风设备布置在同一通风机房内。”

火力发电厂的制氢站、供氢站、供氧站、乙炔站等甲、乙类厂房面积都较小，直流通风系统简单，通常不设置通风机房。当天然气调压站面积较大，需设置通风机房时，必须按照此强制条文执行。

（3）GB 50016—2014第9.3.2条规定：“厂房内

有爆炸危险场所的排风管道，严禁穿过防火墙和有爆炸危险的房间隔墙。”

制氢站、供氢站或蓄电池室等房间可能有氢气产生，布置排风管道时必须按照此强制条文执行，不允许穿过防火墙和有爆炸危险的房间隔墙。同时，由于排风管道内氢气比空气轻，水平排风管全长应顺气流方向向上坡度敷设，以利于氢气排出。室内空气不允许再循环。

（4）GB 50016—2014 第 9.3.9 条规定：“排除有燃烧或爆炸危险气体、蒸气和粉尘的排风系统，应符合下列规定：

1）排风系统应设置导除静电的接地装置；

2）排风设备不应布置在地下或半地下建筑（室）内；

3）排风管应采用金属管道，并应直接通向室外安全地点，不应暗设。”

制氢站、供氢站、蓄电池室的排风系统，以及运煤建筑的通风及除尘系统都必须执行此强制条文。其中 1）排风系统应设置导除静电的接地装置经常被设计者忽视，需提醒大家注意。

（5）空气中含有易燃易爆危险物质的房间，其送风、排风系统应采用防爆型的通风设备。当送风机布置在单独分隔的通风机房内且送风干管上设置防止回流设施时，可采用普通型的通风设备。

（6）甲、乙、丙类厂房内的送风、排风管道宜分层设置。当水平或竖向送风管在进入生产车间处设置防火阀时，各层的水平或竖向送风管可合用一个送风系统。

（7）可燃气体管道和甲、乙、丙类液体管道严禁穿过防火墙，不应穿过通风机房和通风管道，且不应紧贴通风管道的外壁敷设。

（8）GB 50019—2015 第 6.9.3 条规定：“建筑物内的甲乙类火灾危险性的单独房间或其他有防火防爆要求的单独房间……通风系统均应单独设置。”

火力发电厂的蓄电池室、氢站电解间等排除氢气的通风系统不能与其他通风系统合并。送风系统的进风口应与其他房间和区域的进风口分设，其进风口和排风口均应设置在室外无火花溅落的安全处。室内保持负压。

（9）GB 50019—2015 第 6.9.15 条规定：“在下列任一情况下，供暖、通风与空气调节设备均应采用防爆型：

1）直接布置在爆炸危险性区域内时；

2）排除、输送或处理含有燃烧或爆炸危险的粉尘、纤维等物质，其含尘浓度为其爆炸下限的 25% 及以上时。”

火力发电厂内需排除氢气的蓄电池室和电解间、需排除油气的燃油泵房和柴油机房、需排除燃气的燃机厂房和调压站等房间，以及主厂房内位于爆炸危险区域的供暖通风及空气调节设备均应采用防爆设备。当送风、排风设备设置在专用机房时，电动机可采用密闭型，送风机房应采用通风措施，排风机房的换气次数不小于 1 次/h。当送风、排风设备无单独机房时，风机和电动机之间不得采用皮带传动。

（二）灭火后通风系统

配备全淹没气体灭火系统的电气设备间、电子设备间、继电器室和电缆夹层等防护区，以及无可开启外窗的控制室、电气或电子设备间均应设置灭火后通风换气系统。灭火后通风换气次数不应小于 6 次/h。灭火后通风系统的设备及管道应为钢制。

1. 电气设备间灭火后通风

（1）全淹没气体灭火电气设备间的灭火后通风。通常机组容量为 300MW 级及以上的火力发电厂配电装置室、电缆夹层等电气设备间设置全淹没气体灭火系统。设置全淹没气体灭火系统的电气设备间，其进风、排风设施应为电动型装置，且可以就地兼远程操作。通常排除室内余热的通风机会兼作灭火后室内通风换气设施。

正常运行时，电气设备间的进风、排风设施全部处于开启状态，排除室内电气设备散发的热量。当发生火灾时，感烟火灾探测器发送信号至消防控制中心，消防控制系统确认着火后关闭房间的进风、排风设施，以确保房间密闭性，然后启动气体灭火系统。当火被扑灭后且确认不能复燃时，室内会充满灭火气体和烟气，此时开启通风系统，排除室内气体，全面换气后电气设备间进入正常工作状态。

当用于排除室内余热的通风系统兼作灭火后通风换气用时，宜设置可自动切换的上、下部室内吸风口，排风应直通室外。当灭火后排风系统独立设置时，室内吸风口宜设置在下部，排风应直通室外。排风系统的吸风管段应设置具有电动关闭功能的防火阀或电动快关型风阀，或者吸风口采用具有电动关闭功能的防火风口，百叶窗应具有电动快关的功能。电动快关型风阀及电动快关型百叶窗的控制电缆应实施耐火防护或选用具有耐火性能的电缆。

（2）设置消火栓和灭火器等消防设施的电气设备间的灭火后通风。火力发电厂辅助建筑的电气设备间通常设置消火栓和灭火器等消防设施。当电气设备间位于地下或半地下，或者虽位于地上但是没有可开启外窗时，电气设备间应设置灭火后排风机。正常运行时，电气设备间的进风、排风设施全部处于开启状态，排除室内电气设备散发的热量。当感烟火灾探测器探测到火灾信号时，消防控制系统会联锁关断通风机，以防通风机的运行使火情恶化。当火被扑灭后且确认不能复燃时，室内会充满灭火气体和烟气，此时开启

灭火后排风机排除室内气体，全面换气后电气设备间进入正常工作状态。排除室内余热的通风机可兼作灭火后排风机。

当电气设备间有可开启外窗时，满足自然排烟条件。这种电气设备间既可以设置灭火后排风机排除烟气，也可以采用外窗进行自然排烟。

2. 电子设备间灭火后通风

（1）全淹没气体灭火电子设备间的灭火后通风。通常机组容量为300MW级及以上的火力发电厂电子设备间、继电器室、DCS工程师室等房间设置全淹没气体灭火系统。设置全淹没气体灭火系统的电气设备间须设置灭火后排风机，且可以就地兼远程操作。排风口宜设置在防护区的下部并应直通室外。

火力发电厂电子设备间、继电器室、DCS工程师室一般位于集中控制楼或者网络控制楼的集中空气调节系统覆盖的区域。正常运行时，集中空气调节系统的空气调节机组及送风、排风管道上的防火阀及风口全部开启，保证室内适宜的温度和湿度，而灭火后排风机处于关闭状态。当发生火灾时，感烟火灾探测器发送信号至消防控制中心，消防控制系统确认着火后，关闭空气调节机组的送风、排风机以及送风、排风管道上的防火阀，确保房间密闭性，然后启动气体灭火系统。

当火被扑灭后且确认不能复燃时，室内会充满灭火气体和烟气，此时开启灭火后排风机排除室内气体。经充分的全面换气后，灭火气体和烟气被全部排除，此时重新启动集中空气调节系统，进入正常工作状态。

（2）设置消火栓和灭火器等消防设施的电子设备间的灭火后通风。火力发电厂辅助建筑的电子设备间或小型机组主厂房区域的电子设备间通常采用消火栓和灭火器等消防设施。当电子设备间位于地下或半地下，或者虽位于地上但是没有可开启外窗时，电子设备间应设置灭火后排风机。正常运行时，电子设备间的空气调节设备开启，保证室内适宜的温度和湿度，灭火后排风机处于关闭状态。当感烟火灾探测器探测到火灾信号时，消防控制中心会联锁关断空气调节设备。当火被扑灭后且确认不能复燃时，室内会充满灭火气体和烟气，开启灭火后排风机排除室内气体，全面换气后重新启动空气调节系统进入正常工作状态。

当电子设备间有可开启外窗时，满足自然排烟条件。这种电子设备间既可以设置灭火后排风机排除烟气，也可以采用外窗进行自然排烟。

不设置气体灭火系统的电子设备间无可开启外窗时，必须设置灭火后通风机。

3. 控制室灭火后通风

控制室有人值守，为保证人员安全，控制室不设置气体灭火系统，只设置消火栓和灭火器。当控制室具有可开启外窗时，满足自然排烟条件。这样的控制室既可以设置灭火后排风机排除烟气，又可以采用外窗进行自然排烟。

当控制室无可开启外窗时，必须设置灭火后排风机，以排除烟气，迅速恢复控制室内空气质量。排风口宜设置在防护区的下部并应直通室外。

（三）通风与空气调节设备与管道的防火

（1）氢冷发电机组的汽机房屋面应设置排氢装置。当汽机房采用自然排风时，屋顶通风器可兼作排氢装置，阀板的电动执行机构应防爆。当采用机械排风时，排氢装置为筒形风帽，屋顶风机为防爆型。

（2）有火灾探测报警的房间，通风与空气调节系统的送风机、回风机应与消防系统联锁，当系统服务区域出现火警时应能立即停运。

（3）通风与空气调节系统的新风口应远离废气口和其他火灾危险区的烟气排气口。

（4）防火墙上不应开设风口。当必须开设时，风口应设置防火阀。

（5）空气调节机组的电加热器应与送风机联锁，并应设欠风、超温断电保护。风管内设置电加热器时，电加热器的开关应与风机的启停联锁控制。

(6)通风与空气调节系统横向宜按防火分区设置，竖向不宜超过5层。当管道设置防止回流设施或防火阀时，管道布置可不受此限制。

（7）穿越楼层的竖向风管应设置在管道井内，管道井的井壁应采用耐火极限不低于1h的防火隔墙。当风管采用耐火极限不低于1h的耐火管道时，可不设置管道井。

（8）火力发电厂办公楼、宿舍或食堂的卫生间、浴室和厨房的竖向排风管，应采取防止回流措施并宜在支管上设置公称动作温度为70℃的防火阀。厨房的排油烟管道宜按防火分区设置，且在与竖向排风管连接的支管处应设置公称动作温度为150℃的防火阀。

（9）通风与空气调节系统的管材与绝热材料的防火性能应符合下列规定：

1）通风与空气调节系统的风管应采用不燃材料制作；接触腐蚀性介质的风管及挠性接头，可采用难燃材料制作。

2）通风与空气调节系统风管的绝热材料应采用不燃材料制作。

3）通风与空气调节系统中水管及其绝热材料、加湿器的加湿材料、消声材料及其黏结剂宜采用不燃材料。当确有困难时，可采用燃烧产物毒性较小且烟密度等级不大于50的难燃材料。

（四）燃油或燃气锅炉房的防火

燃油或燃气锅炉房应设置自然通风或机械通风设施。燃气锅炉房应选用防爆型的事故排风机。当采取机械通风时，机械通风设施应设置导除静电的接地装置，通风量应符合下列规定：

（1）燃油锅炉房的正常通风量应按换气次数不少于 3 次/h 确定，事故排风量应按换气次数不少于 6 次/h 确定。

（2）燃气锅炉房的正常通风量应按换气次数不少于 6 次/h 确定，事故排风量应按换气次数不少于 12 次/h 确定。

（五）运煤除尘系统的防火

（1）GB 50016—2014 第 9.3.5 条规定："含有燃烧和爆炸危险粉尘的空气，在进入排风机前应采用不产生火花的除尘器进行处理。"

目前，火力发电厂运煤除尘系统通常的布袋除尘器和湿式除尘器，湿式除尘器本体不会产生火花，而布袋除尘器需要在其设备制造和管道设计中采取防静电、防自燃、防摩擦冲击等产生火花的有力措施。

1）防静电。布袋除尘器的布袋采用防静电滤料；除尘器、管道及风机等连接起来作接地处理。

2）防自燃。煤尘积聚可造成局部温度升高，引起自燃，尤其在夏季对于干燥无灰基挥发分较高的煤种尤其应引起注意。定期振打或喷吹，防止煤尘聚积在布袋；定期排灰，防止灰斗内煤尘聚集，必要时可在除尘器停机前清空灰斗；吸尘风道不能漏风，风速不能过小，吸尘风道尽量短且减少水平段，弯头曲率半径不小于 1.5D（D 为吸尘风道直径），防止煤尘在风道或弯头内堆积。

3）防摩擦冲击。吸尘罩口安装适当的金属网，防止铁片、螺钉等被吸入与管道发生碰撞摩擦产生火花；因为振打动作会产生撞击火花，所以当煤质干燥无灰基挥发分较高时，清袋方式不宜选用振打型，尽量选用脉冲喷吹型。

4）防明火。检修时气焊火焰或电焊火花可产生明火，检修过程需全程留意，谨防有明火产生。

（2）GB 50016—2014 第 9.3.7 条规定："净化有爆炸危险粉尘的干式除尘器和过滤器宜布置在厂房外的独立建筑内，建筑外墙和所属厂房的防火间距不应小于 10m。具备连续清灰功能或具有定期清灰功能且风量不大于 15000m^3/h、集尘斗的储尘量小于 60kg 的干式除尘器和过滤器，可布置在厂房内的单独房间内，但应采用耐火极限不低于 3.00h 的防火隔墙和 1.50h 的楼板与其他部位分隔。"火力发电厂运煤系统除尘器的风量基本在 6000～20000m^3/h 之间，无论风量是否大于 15000m^3/h，除尘器室均设置在运煤建筑内部，除尘器也可敞开布置，可不以独立建筑出现，这样可以将管道设计得更加紧凑合理。

（3）运煤系统的布袋除尘器应设置泄压装置。除尘器和过滤器应布置在系统的负压段上。

（4）运煤除尘系统的排风管应采用金属管道，并应直接通向室外安全地点，不应暗设。排风系统应设置导除静电的接地装置。排风机不应布置在地下或半地下建筑内。

（六）防火阀

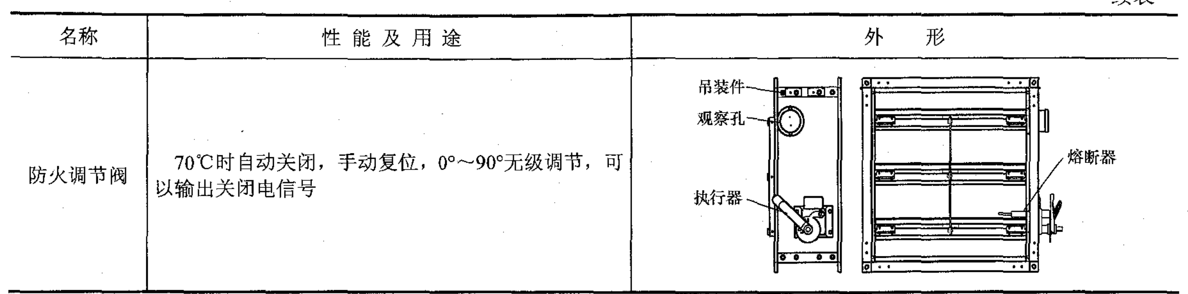
1. 防火阀的基本分类

防火阀安装在通风、空气调节系统的送风、排风管道上，平时呈开启状态，火灾时当管内烟气温度达到 70℃时关闭，并在一定时间内能满足漏烟量和耐火完整性要求，起隔烟阻火作用。防火阀一般由阀体、叶片、执行机构和温感器等部件组成。防火阀的基本分类见表 12-4。

表 12-4　防火阀的基本分类

名称	性能及用途	外形
常规防火阀	采用 70℃温度熔断器自动关闭（防火），可输出联动信号。用于通风空气调节系统风管内，防止火势沿风管蔓延	观察孔　熔断器　吊装件　执行器
防烟防火阀	靠感烟火灾探测器控制动作，用电信号通过电磁阀关闭（防烟），还可采用 70℃温度熔断器自动关闭（防火）。用于通风空气调节系统风管内，防止烟火蔓延	熔断器　执行器　吊装件　观察孔

续表

名称	性能及用途	外形
防火调节阀	70℃时自动关闭，手动复位，0°～90°无级调节，可以输出关闭电信号	

2. 防火阀的设置要求

（1）通风与空气调节系统的风管符合下列情况之一时应设置防火阀：

1）穿越防火分区处；

2）穿越通风机房、空气调节机房的隔墙和楼板处；

3）穿越重要或火灾危险性大的房间的隔墙和楼板处；

4）穿越防火分隔处的变形缝两侧；

5）竖向风管与每层水平风管交接处的水平管段上。当建筑内每个防火分区的通风、空气调节系统均独立设置时，水平风管与竖向总管的交接处可不设置防火阀。

（2）设置烟感探测器区域的防火阀应选用防烟防火阀，并与消防信号联锁。

（3）防火阀距离防火分隔处的距离不宜大于200mm。穿越墙体和楼板的防火阀两侧各2m范围内，风管厚度不应小于2mm，穿越处孔洞空隙应采用柔性防火材料严密封堵。

（4）防火阀两侧各2m范围内的风管及其绝热材料应采用不燃材料，且具有足够的刚性和抗变形能力。

（5）防火阀宜安装在易于检修处。防火阀应设有单独支吊架，防止风管变形影响阀门的关闭。防火阀暗装时，应在安装部位设置方便检修的检修口。

（6）防火阀的安装示意图如图12-1所示。

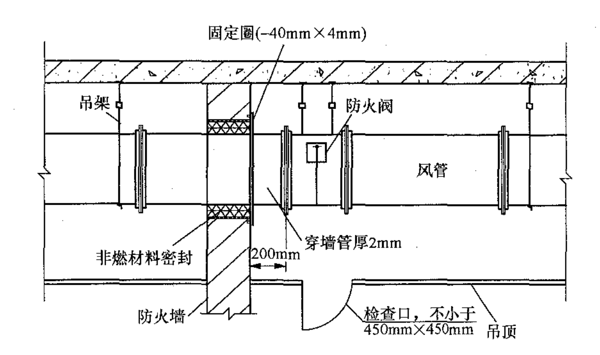


图12-1　防火阀的安装示意图

（7）防火阀应符合GB 15930—2007《建筑通风和排烟系统用防火阀门》的相关规定。

第二节　建筑防烟和排烟

防烟和排烟的目的是将火灾现场的烟和热量及时排除，减弱火势的蔓延，阻止烟气向防烟分区外扩散，确保建筑物内人员的顺利疏散和安全避难，并为消防救援创造有利条件。建筑物内的防烟和排烟是保证建筑内人员安全疏散的必要条件。

GB 50016—2014第1.0.2条规定，“……人民防空工程、石油和天然气工程、石油化工工程和火力发电厂与变电站等的建筑防火设计，当有专门的国家标准时，宜从其规定。”由于火力发电厂建筑内工艺设备较多、人员相对较少的特殊性，DL/T 5035—2016对火力发电厂建筑防烟和排烟的设计有其专门的规定。

一、火力发电厂防烟和排烟设施

（一）对GB 50016—2014防烟和排烟设施规定的解读

GB 50016—2014第8.5.1～8.5.4条对需要设置防烟或排烟的建筑场所或部位做了明确规定，针对火力发电厂建筑的工艺特点及使用性质，将这些规定在火力发电厂建筑的应用做了解读，具体内容见表12-5。

（二）火力发电厂设置防烟设施的场所

根据对GB 50016—2014防烟设施场所的解读以及DL/T 5035—2016的规定，火力发电厂建筑的下列场所需设置防烟设施：

（1）防烟楼梯间及其前室。

（2）消防电梯间前室或合用前室。

（3）封闭楼梯间。

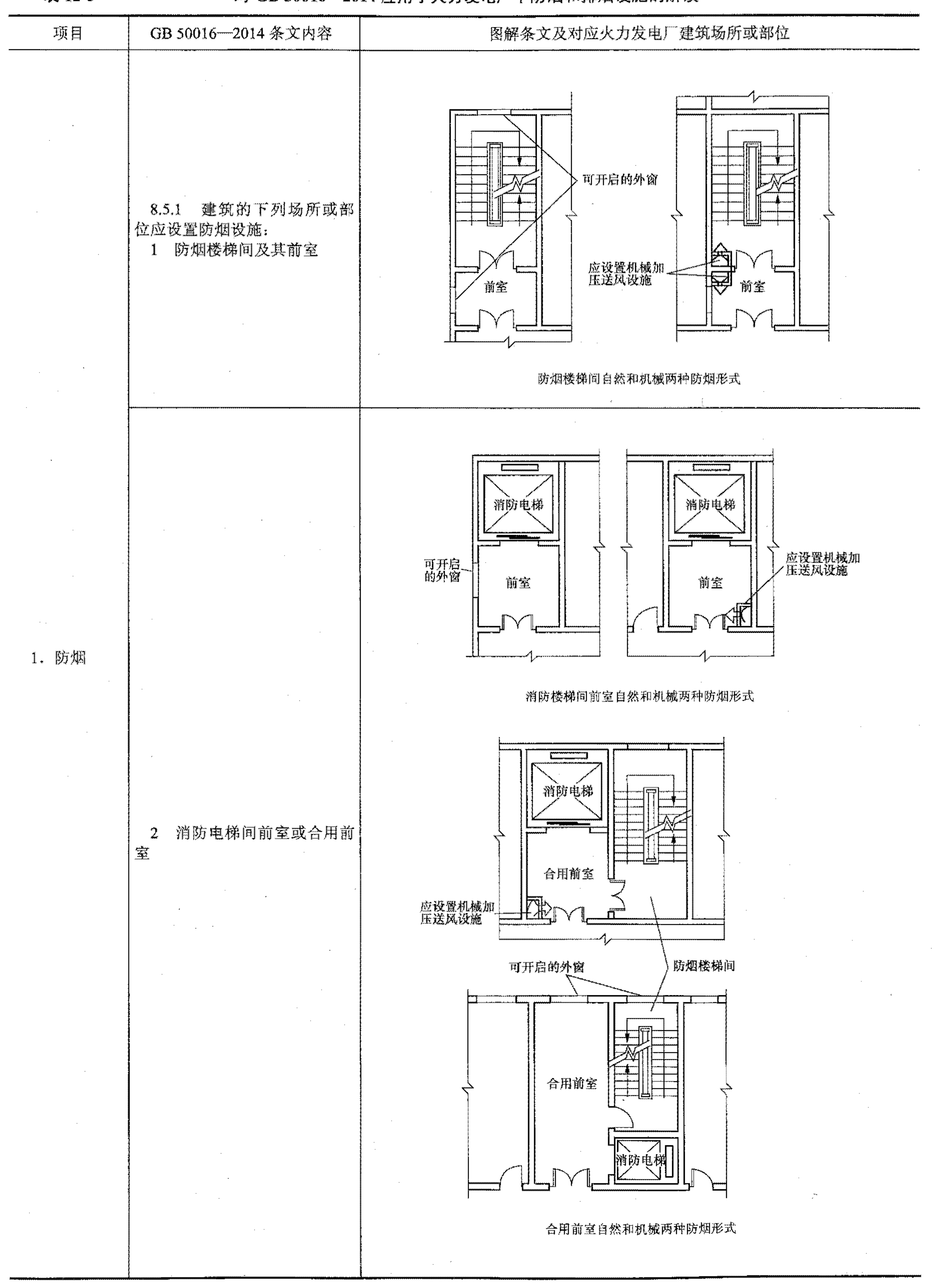
建筑防烟系统的设计应根据建筑高度、使用性质等因素采用自然通风系统或机械加压送风系统。

（三）火力发电厂设置排烟设施的场所

根据对GB 50016—2014排烟设施场所的解读以及DL/T 5035—2016的规定，下列场所需设置排烟设施：

表 12-5　　对 GB 50016—2014 应用于火力发电厂中防烟和排烟设施的解读

项目	GB 50016—2014 条文内容	图解条文及对应火力发电厂建筑场所或部位
1. 防烟	8.5.1　建筑的下列场所或部位应设置防烟设施： 1　防烟楼梯间及其前室	防烟楼梯间自然和机械两种防烟形式
	2　消防电梯间前室或合用前室	消防楼梯间前室自然和机械两种防烟形式 合用前室自然和机械两种防烟形式



续表

项目	GB 50016—2014 条文内容	图解条文及对应火力发电厂建筑场所或部位
	3 避难走道的前室、避难层(间)	火力发电厂建筑不涉及
1. 防烟	建筑高度不大于 50m 的公共建筑、厂房、仓库和建筑高度不大于 100m 的住宅建筑，当其防烟楼梯间的前室或合用前室符合下列条件之一时，楼梯间可不设置防烟系统： 1 前室或合用前室采用敞开的阳台、凹廊	建筑高度≤50m的公共建筑、厂房、仓库和建筑高度≤100m的住宅建筑。 防烟楼梯间 开敞式阳台 疏散走道 凹廊 疏散走道 防烟楼梯间前室 注：敞开的阳台、凹廊做前室时，其面积要满足防烟楼梯间前室的面积要求(公共建筑≥6m²，住宅建筑≥4.5m²)。 防烟楼梯间前室采用敞开的阳台或凹廊。 防烟楼梯间 开敞式阳台 凹廊 合用前室 注：敞开的阳台、凹廊做合用前室时，其面积要满足防烟楼梯间合用前室的使用面积要求(公共建筑、高层厂房仓库≥10m²;住宅建筑≥6m²)。 合用前室采用敞开的阳台、凹廊
	2 前室或合用前室具有不同朝向的可开启外窗，且可开启外窗的面积满足自然排烟口的面积要求	疏散走道 前室 防烟楼梯间 不同朝向的可开启外窗，且可开启外窗的面积满足自然排烟口的面积要求 注：防烟楼梯间前室、消防电梯前室自然通风的有效面积≥2.0m²,合用前室≥3.0m²。 防烟楼梯间前室不同朝向可开启窗满足自然排烟面积要求。 防烟楼梯间 合用前室 不同朝向的可开启外窗，且可开启外窗的面积满足自然排烟口的面积要求 合用前室不同朝向可开启窗满足自然排烟面积要求

续表

项目	GB 50016—2014 条文内容	图解条文及对应火力发电厂建筑场所或部位
2. 厂房或仓库排烟	8.5.2　厂房或仓库的下列场所或部位应设置排烟设施： 1　人员或可燃物较多的丙类生产场所，丙类厂房内建筑面积大于300m²且经常有人停留或可燃物较多的地上房间	人员或可燃物较多的丙类生产场所（应设置排烟设施） 丙类厂房 且经常有人停留或可燃物较多的地上房间 建筑面积＞300m²（应设置排烟设施） 火力发电厂属于丙类厂房的建筑有运煤建筑、油处理建筑、柴油机房、尿素车间及储备间等。这些丙类厂房均具备人员少的特点。 运煤建筑的煤属于可燃物，之前数十年来并没有设计排烟系统，实际运行中运煤建筑也没有由于煤尘自燃或火灾造成重大人员伤害的事故发生。其原因有如下几点： （1）根据 DL 5027—2015 的要求，对长期停运的原煤仓、运煤皮带系统，包括煤斗、落煤管和除尘用的通风管的积尘、积粉应清理干净，皮带上不得有存煤，以防集煤、积粉自燃。燃用褐煤或易自燃的高挥发分煤种的燃煤电厂采用难燃胶带。导料槽的防尘密封条应采用难燃型。卸煤装置、筒仓、混凝土或者金属煤斗、落煤管的内衬应采用不燃材料。因此，运煤系统从工艺设计上避免了煤尘自燃和火灾事故的发生。 （2）运煤系统转运站、碎煤机室等处设有除尘装置，室内设有水力清扫或真空清扫装置，对洒落在室内的煤块、粉尘等及时清扫，在维持室内良好的工作环境的同时，客观上也避免了煤粉堆积、自燃现象的产生。 （3）运煤建筑地下部分设有机械排风装置，通风量夏季按换气次数不小于 15 次/h 计算，冬季按换气次数不小于 5 次/h 计算，通风良好，无易燃、易爆气体和粉尘的聚集。 （4）煤在适宜温度和湿度下会自燃，煤燃烧的特点是焖燃而不是轰燃，起火速度较慢，烟气量少。运煤建筑构件耐火等级为二级，根据 GB 50016—2014 中表 3.7.4，二级丙类厂房内任一点至安全出口的直线距离不超过 80m（单层）和 60m（多层），也就是说，按照人疏散的速度 1m/s 估算，运煤建筑人员一旦发现煤燃烧，至多 1.5min（单层）和 1min（多层）即可到达安全地点。因此煤的燃烧不会殃及人员安全。 （5）根据 GB 50229—2006 要求，当感温火灾探测器探测到火情时，运煤建筑的水幕、水喷雾或自动喷水灭火系统会投入运行。 上述（1）、（2）、（3）从工艺设计、通风设计及运行管理上避免了火灾事故的发生，（4）、（5）从消防安全角度说明了即使发生火灾也可以保证人员安全疏散，并有效控制火情。因此运煤建筑可不设置排烟系统
	2　建筑面积大于 5000m² 的丁类生产车间	建筑面积＞5000m²的丁类生产车间 火力发电厂属于丁类的建筑，有主厂房、引风机室、主控楼、脱硫控制楼、启动锅炉房、金属试验室、推煤机库等。其中主厂房属于建筑面积大于 5000m² 的丁类厂房，其工艺及建筑的特殊性表明不必设置排烟设施。主厂房属于大空间高热厂房，运行人员的活动区域基本在运转层以下。发生火灾时烟气在厂房上部聚积，屋架下是个巨型的蓄烟池，不影响各层人员撤离火灾现场。屋面的排风窗或通风器还可以作为排除烟气的设施，降低屋面下空气温度，以减少高温对厂房结构造成的危害。必要时主厂房各层的建筑外窗或百叶窗均可作为自然排烟窗。因此主厂房可不设置排烟系统
	3　占地面积大于 1000m² 的丙类仓库	占地面积＞1000m²的丙类仓库 火力发电厂室内储煤场属于占地面积大于 1000m² 的丙类建筑，但其工艺及建筑特点表明不必设置排烟设施。储煤场具有完善的自然通风系统，发生火灾时，烟气可以随着自然通风的气流组织顺利排至室外。同时室内储煤场设有火灾报警系统和固定灭火水泡，安全出口不少于 2 个，周围设有环形消防车道，可以保证人员安全疏散

续表

项目	GB 50016—2014 条文内容	图解条文及对应火力发电厂建筑场所或部位
2．厂房或仓库排烟	4　高度大于 32m 的高层厂房（仓库）内长度大于 20m 的疏散走道，其他厂房（仓库）内长度大于 40m 的疏散走道	$H>32m, L>20m$的高层厂房(仓库)内的疏散走道 $H\leqslant32m, L>40m$的其他厂房(仓库)内的疏散走道 火力发电厂运行人员较多的建筑为集中控制楼、运煤综合楼、化学实验楼和检修办公楼等，这些建筑高度一般都在 32m 以下，其中若有超过 40m 长的疏散走道，应设置排烟设施
3．民用建筑排烟	8.5.3　民用建筑的下列场所或部位应设置排烟设施： 1　设置在一、二、三层且房间建筑面积大于 100m² 的歌舞娱乐放映游艺场所，设置在四层及以上楼层、地下或半地下的歌舞娱乐游艺场所	火力发电厂建筑不涉及
	2　中庭	火力发电厂建筑基本不涉及。厂前办公楼等建筑如涉及，应按照规范要求设置排烟设施
	3　公共建筑内建筑面积大于 100m² 且经常有人停留的地上房间	公共建筑内建筑面积＞100m² 且经常有人停留的地上房间 建筑面积大于300m² 且可燃物较多的地上房间 火力发电厂厂前建筑中的行政办公楼、宿舍、食堂等按照此款执行。虽然根据 GB 50019—2015 的划分，“生产厂房、仓库、公用辅助建筑以及生活、行政辅助建筑”统称为工业建筑，但是厂前建筑中的行政办公楼、宿舍、食堂是人员聚集的办公及生活区域，其性质与民用建筑相同，因此建筑排烟系统设计按照此款执行是合理的。如果按照厂房等工业建筑执行，其实是降低了对排烟系统的要求，存在安全隐患
	4　公共建筑内建筑面积大于 300m² 且可燃物较多的地上房间	火力发电厂建筑不涉及
	5　建筑内长度大于 20m 的疏散走道	建筑内长度＞20m的疏散走道 火力发电厂厂前建筑中的行政办公楼、宿舍、食堂等按照此款执行

续表

项目	GB 50016—2014 条文内容	图解条文及对应火力发电厂建筑场所或部位
4．地下或地上无窗建筑排烟	8.5.4　地下或半地下建筑（室）、地上建筑内的无窗房间，当总建筑面积大于 200m² 或一个房间建筑面积大于 50m²，且经常有人停留或可燃物较多时，应设置排烟设施	总建筑面积>200m² 且经常有人停留或可燃物较多时 地下或半地下建筑(室)平面示意图 一个房间建筑面积>50m² 且经常有人停留或可燃物较多时 地下或半地下建筑(室)平面示意图 一个房间建筑面积>50m² 且经常有人停留或可燃物较多时 地上建筑平面示意图 注：地上建筑中无窗房间的通风及自然排烟条件与地下建筑类似，因此其相关要求也与地下建筑的要求一致。 火力发电厂地下或半地下运煤建筑，同 8.5.2 中 1 的解读一样，可不设排烟系统。 当集中控制室无外窗时，应按照此款执行。控制室采用消火栓或灭火器等消防措施，火灾初期的可控阶段，工作人员可以利用消防设施进行扑救。当火灾不可控时，工作人员需要从疏散走道撤离至安全区域，而疏散走道符合 8.5.2 中 4 的要求时将设置排烟设施。但控制室需要设置灭火后通风系统

（1）火力发电厂生产建筑和生产辅助建筑。

1）高度超过 32m 的厂房内长度大于 20m 的疏散走道；

2）集中控制楼、运煤综合楼、化学试验楼、检修办公楼等建筑内长度大于 40m 的疏散走道。

（2）火力发电厂厂前公共建筑。

1）行政办公楼、宿舍或食堂等厂前公共建筑长度大于 20m 的疏散走道；

2）行政办公楼、宿舍或食堂等厂前公共建筑面积大于 100m² 且经常有人停留的地上房间；

3）行政办公楼、宿舍或食堂等厂前公共建筑总建筑面积大于 200m² 或一个房间面积大于 50m² 且经常有人停留的地下或地上无窗房间。

建筑排烟系统设计应根据使用性质、平面布局等因素，优先采用自然排烟系统，确有困难时可采用机械排烟系统。

二、火力发电厂建筑防烟设计

火力发电厂建筑防烟设计及风量选择计算应符合现行国家标准。

（一）自然通风方式的防烟系统

火力发电厂应设置防烟设施的场所若具备自然通风条件，宜设置自然通风方式作为防烟手段。

1．可采用自然通风方式的区域

（1）建筑高度小于或等于 50m 的办公楼、厂房及仓库等建筑，其防烟楼梯间、独立前室、合用前室及消防电梯前室应采用自然通风方式的防烟系统。当确有困难时，应采用机械加压送风系统。

（2）当独立前室、合用前室及消防电梯前室符合下列要求之一时，可采用仅前室设置防烟设施的自然通风系统：

1）前室为敞开的阳台或凹廊；

2）前室设有不同朝向的可开启外窗，且独立前室两个不同朝向的可开启外窗面积分别不小于 2.0m²，合用前室分别不小于 3.0m²。

（3）当加压送风口设置在独立前室、合用前室及消防电梯前室顶部或正对前室入口的墙面时，楼梯间可采用自然通风方式。当加压送风口未设置在前室的顶部或正对前室入口的墙面时，楼梯间应采用机械加压送风系统。

（4）封闭楼梯间应采用自然通风系统，不能满足自然通风条件时应设置机械加压送风系统。当地下、半地下建筑（室）的封闭楼梯间不与地上楼梯间共用，可不设置机械加压送风系统，但首层应设置有效面积不小于 1.2m² 的可开启外窗或直通室外的疏散门。

2．自然通风设施

（1）防烟楼梯间前室、消防电梯前室可开启外窗或开口的有效面积不应小于 2.0m²，合用前室不应小于 3.0m²。

（2）封闭楼梯间和防烟楼梯间应在最高部位设置面积不小于 1.0m² 的可开启外窗或开口。当建筑高度大于 10m 时，还应在楼梯间的外墙上每 5 层内设置总面积不小于 2.0m² 可开启外窗或开口，且宜每隔 2～3 层布置。

3．可开启外窗或开口的设置要求

作为自然通风口的窗口宜设置在区域的外墙或屋

顶上，并应有方便开启的装置。设在高处的可开启外窗应设置距地面高度为1.3～1.5m的开启装置。

（二）机械加压送风的防烟系统

1. 设置机械加压送风防烟措施的场所

（1）火力发电厂下列场所应设置机械加压送风防烟设施：

1）不具备自然排烟条件的防烟楼梯间；

2）不具备自然排烟条件的消防电梯间前室或合用前室；

3）设置自然排烟设施的防烟楼梯间，其不具备自然排烟条件的前室；

4）不能满足自然通风条件的封闭楼梯间。

（2）防烟楼梯间地下部分。当防烟楼梯间在裙房高度以上部分采用自然通风时，不具备自然通风条件的裙房的独立前室、合用前室及消防电梯前室应采用机械加压送风系统。

（3）不能满足自然通风条件的封闭楼梯间应设置机械加压送风系统。当封闭楼梯间位于地下且不与地上楼梯间共用时，可不设置机械加压送风系统，但应在首层设置不小于 1.2m^2 的可开启外窗或直通室外的门。

2. 机械加压送风量

机械加压送风系统的风压和风量应经计算确定，并保证设计需要的余压值。设计风量不应小于计算风量的1.2倍。

（1）机械加压送风量的计算。防烟楼梯间、独立前室、合用前室以及消防电梯前室的机械加压送风的风量应由式（12-1）～式（12-5）计算确定。

1）防烟楼梯间或前室、合用前室的机械加压送风量应按下列公式计算，即

$$L_j = L_1 + L_2 \tag{12-1}$$

$$L_s = L_1 + L_3 \tag{12-2}$$

式中 L_j——楼梯间的机械加压送风量，m^3/s；

L_s——前室或合用前室的机械加压送风量，m^3/s；

L_1——门开启时，达到规定风速值所需的送风量，m^3/s；

L_2——门开启时，规定风速值下其他门缝漏风总量，m^3/s；

L_3——未开启的常闭送风阀的漏风总量，m^3/s。

2）门开启时，达到规定风速值所需的送风量应按以下公式计算，即

$$L_1 = A_k v N_1 \tag{12-3}$$

式中 A_k——开启门的截面面积，m^2。

v——门洞断面风速，当楼梯间机械加压送风、合用前室机械加压送风时，通向合用前室疏散门和通向楼梯间疏散门的门洞断面风速均不应小于0.7m/s；当楼梯间机械加压送风、独立前室不送风时，通向楼梯间疏散门的门洞断面风速不应小于1.0m/s；当消防电梯前室机械加压送风时，通向消防电梯前室疏散门的门洞断面风速不应小于1.0m/s；当独立前室或合用前室机械加压送风且楼梯间采用可开启外窗的自然通风系统时，通向独立前室或合用前室疏散门的门洞风速不应小于1.2m/s。

N_1——设计层数内的疏散门开启的数量。楼梯间采用常开风口，当地上楼梯间为15层以下时，设计2层内的疏散门开启，取2；当地上楼梯间为15层及以上时，设计3层内的疏散门开启，取3；当为地下楼梯间时，设计1层内的疏散门开启，取1；当防火分区跨越楼层时，设计跨越楼层内的疏散门开启，取跨越楼层数，最大值为3。前室或合用前室采用常闭风口，当防火分区不跨越楼层时，取系统中开向前室门最多的一层门数量；当防火分区跨越楼层时，取跨越楼层数所对应的疏散门数，最大值为3。

3）门开启时，规定风速值下的其他门漏风总量 L_2 应按以下公式计算，即

$$L_2 = 0.827 \times A \times \Delta p^{\frac{1}{n}} \times 1.25 \times N_2 \tag{12-4}$$

式中 A——每个疏散门的有效漏风面积（疏散门的门缝宽度取0.002～0.004m），m^2。

Δp——计算漏风量的平均压力差，当开启门洞处风速为0.7m/s时，取6.0Pa；当开启门洞处风速为1.0m/s时，取12.0Pa；当开启门洞处风速为1.2m/s时，取17.0Pa。

n——指数，一般取2。

1.25——不严密处附加系数。

N_2——漏风疏散门的数量，楼梯间采用常开风口，取加压楼梯间门的总数减去 N_1。

4）未开启的常闭送风阀的漏风总量 L_3 应按下式计算，即

$$L_3 = 0.083 \times A_f N_3 \tag{12-5}$$

式中 0.083——阀门单位面积的漏风量，m^3/(s·m^2)；

A_f——每个送风阀门的面积，m^2；

N_3——漏风阀门的数量。合用前室、消防电梯前室：采用常闭风口，当防火分区不跨越楼层时，取（楼层数-1）；当防火分区跨越楼层时，取其中开启送风阀的楼层数为跨越楼层数（楼层数-开启送风阀的楼层数），最多为3。

（2）系统负担建筑高度大于24m时的加压送风

量。当系统负担建筑高度大于 24m 时，应按式（12-1）～式（12-5）的计算值与表 12-6～表 12-9 中的较大值确定。

表 12-6　消防电梯前室的加压送风量

系统负担高度 h（m）	加压送风量（m^3/h）
24≤h<50	12700～14200
50≤h<100	14400～17500

表 12-7　楼梯间自然通风，前室、合用前室的加压送风量

系统负担高度 h（m）	加压送风量（m^3/h）
24<h≤50	15200～17100
50<h≤100	17300～21000

表 12-8　前室不送风，封闭楼梯间、防烟楼梯间的加压送风量

系统负担高度 h（m）	加压送风量（m^3/h）
24<h≤50	25000～28100
50<h≤100	39600～45800

表 12-9　防烟楼梯间的楼梯间及合用前室的分别加压送风量

系统负担高度 h（m）	送风部位	加压送风量（m^3/h）
24<h≤50	楼梯间	17500～19700
	合用前室	8900～10000
50<h≤100	楼梯间	27800～32200
	合用前室	10100～12300

1）表 12-6～表 12-9 的风量按开启 2.0m×1.6m 的双扇门确定。当采用单扇门时，其风量可乘以 0.75 系数计算；当设有多个疏散门时，其风量应乘以开启疏散门的数量，最多按 3 扇疏散门开启计算。

2）表 12-6～表 12-9 中未考虑防火分区跨越楼层时的情况；当防火分区跨越楼层时，应按照式（12-1）～式（12-5）重新计算。

3）表 12-6～表 12-9 中风量的选取应按建筑高度或层数、风道材料、防火门漏风量等因素综合确定。

（3）防烟区的余压值。机械加压送风量应满足走廊至前室及楼梯间的压力呈递增分布要求，余压值应符合下列要求：

1）前室、合用前室及消防电梯前室与走道之间的压差应为 25～30Pa；

2）防烟楼梯间、封闭楼梯间与走道之间的压差应为 40～50Pa；

3）当系统余压值超过最大允许压力差时应采取泄压措施，疏散门最大允许压力差应按以下公式计算，即

$$p = 2(F' - F_{dc})(B_m - d_m)/(B_m \times A_m) \qquad (12\text{-}6)$$

$$F_{dc} = M/(W_m - d_m) \qquad (12\text{-}7)$$

式中　p——疏散门的最大允许压力差，Pa；

F'——门的总推力，一般取 110N；

F_{dc}——门把手处克服闭门器所需的力，N；

B_m——单扇门的宽度，m；

d_m——门的把手到门闩的距离，m；

A_m——门的面积，m^2；

M——闭门器的开启力矩，N·m。

3. 加压送风系统的设计

（1）加压送风系统的设置。

1）当防烟楼梯间采用独立前室时，可仅在楼梯间设置机械加压送风系统；当采用合用前室时，楼梯间、合用前室应分别设置机械加压送风系统；剪刀楼梯的两个楼梯间、独立前室、共用前室、合用前室的机械加压送风系统应分别独立设置。

2）建筑高度小于或等于 50m 的建筑，当楼梯间设置加压送风井（管）或确有困难时，楼梯间可采用直灌式加压送风系统，并应符合下列规定：

a. 建筑高度大于 32m 的高层建筑，应采用楼梯间两点部位送风的方式，送风口之间距离不宜小于建筑高度的 1/2；

b. 直灌式加压送风系统的风量应将送风量增加 20%；

c. 加压送风口不宜设在影响人员疏散的部位。

3）采用机械加压送风系统的防烟楼梯间，其楼梯间、独立前室、合用前室及消防电梯前室，除直灌式加压送风系统外，应分别设置送风井（管）道，送风口（阀）和送风机。

4）楼梯间的地上部分与地下部分，其机械加压送风系统应分别独立设置。当受建筑条件限制，且地下部分为汽车库或设备用房时，可共用机械加压送风系统，其送风量为地上和地下部分的加压送风量之和。

5）采用机械加压送风的场所不应设置百叶窗，且不宜设置可开启外窗。

6）设置机械加压送风系统的封闭楼梯间、防烟楼梯间，还应在其楼梯间顶部设置不小于 $1m^2$ 的固定窗。靠外墙的防烟楼梯间的楼梯间，其外墙上还应每 5 层内设置总面积不小于 $2m^2$ 的固定窗 。

（2）加压送风口的设置。加压送风口设置应符合下列要求：

1）除直灌式加压送风方式外，楼梯间宜每隔 2～3 层设一个常开式百叶送风口；

2）独立前室、合用前室应每层设一个常闭式加压送风口，并应设手动开启装置；

3）送风口的风速不宜大于 7m/s；

4）送风口不宜设置在被门挡住的部位。

（3）加压送风机的选择。机械加压送风机可采用轴流风机或中、低压离心风机，其设置应符合下列要求：

1）送风机的进风口宜直通室外。

2）送风机的进风口宜设在机械加压送风系统的下部，且应采取防止烟气侵袭的措施。

3）送风机的进风口不应与排烟风机的出风口设在同一层面，当必须设在同一层面时，送风机的进风口与排烟风机的出风口应分开布置。竖向布置时，送风机的进风口应设置在排烟机出风口的下方，两者边缘最小垂直距离不应小于3.0m；水平布置时，两者边缘最小水平距离不应小于10.0m。

4）送风机应设置在专用机房内。

5）当送风机出风管或进风管上安装单向风阀或电动风阀时，应采取火灾时阀门自动开启的措施。

（4）加压送风管道的设置。送风管道应采用光滑的不燃烧材料制作，且不应采用土建井道。当采用金属管道时，管道设计风速不应大于20m/s；当采用非金属材料管道时，管道设计风速不应大于15m/s；送风管道的厚度应按GB 50243—2016的高压系统矩形风管板材厚度选取。

竖向设置的机械加压送风管道应设置在独立的管道井内，当独立设置确有困难时，送风管道的耐火极限不应小于1.0h。水平设置的送风管道，当设置在吊顶内时，其耐火极限不应小于0.5h；当未设置在吊顶内时，其耐火极限不应小于1.0h。

机械加压送风系统的管道井应采用耐火极限不小于1.0h的隔墙与相邻部位分隔，当墙上必须设置检修门时应采用乙级防火门。

（5）防烟系统的自动控制。

1）采用机械加压送风方式的防烟系统应与火灾自动报警系统联锁。

2）加压送风机的启动应符合下列要求：

a．送风机现场手动启动；

b．通过火灾自动报警系统自动启动；

c．消防控制室手动启动；

d．系统中任一常闭加压送风口开启时，加压风机应能自动启动。

3）当防火分区内火灾确认后，控制系统应能在15s内联动开启常闭加压送风口和加压送风机，并应符合下列要求：

a．应开启该防火分区楼梯间的全部加压送风机；

b．当防火分区不跨越楼层时，应开启该防火分区内前室及合用前室的常闭加压送风口及其加压送风机；

c．当防火分区跨越楼层时，应开启该防火分区内全部楼层的前室及合用前室的常闭加压送风口及其加压送风机；

d．机械加压送风系统宜设有测压装置及风压调节措施；

e．消防控制设备应显示防烟系统的送风机、阀门等设施启闭状态。

三、火力发电厂建筑的排烟设计

火力发电厂建筑的排烟设计及风量选择计算应符合现行国家标准。

建筑排烟系统应根据使用性质、平面布局等因素，优先采用自然排烟系统，确有困难时可采用机械排烟系统。同一个防烟分区应采用同一种排烟方式。在同一个防烟分区内不应同时采用自然排烟方式或机械排烟方式，因为这两种方式相互之间对气流造成干扰，影响排烟效果。尤其是在排烟时，自然排烟口还可能会在机械排烟系统动作后变成进风口，失去排烟作用。

（一）防烟分区的划分

（1）设置排烟系统的场所或部位应采用挡烟垂壁、结构梁及隔墙等划分防烟分区。挡烟垂壁是指采用不燃材料制成，垂直安装在建筑顶棚、梁或吊顶下，能在火灾时形成一定的蓄烟空间的挡烟分隔设施。防烟分区不应跨越防火分区。

（2）挡烟垂壁等挡烟分隔设施的深度不应小于储烟仓厚度。当采用自然排烟方式时，储烟仓的厚度不应小于空间净高的20%；当采用机械排烟方式时，不应小于空间净高的10%，且不应小于500mm。同时，储烟仓底部距地面的高度应大于疏散安全所需的最小清晰高度，走道、室内空间净高不大于3m的区域，其最小清晰高度不应小于其净高的1/2，其他区域最小清晰高度计算式为

$$H_q = 1.6 + 0.1H \qquad (12\text{-}8)$$

式中　H_q——最小清晰高度，m；

H——排烟空间的建筑净高度，m。

（3）设置排烟设施的建筑内，敞开楼梯和自动扶梯穿越楼板的开口部位应设置挡烟垂壁等设施。

（4）防烟分区的最大允许面积及其长边最大允许长度应符合表12-10的规定。

表12-10　防烟分区的最大允许面积及其长边最大允许长度

空间净高H	最大允许面积（m^2）	长边最大允许长度
$H \leqslant 3.0$m	500	24m
3.0m$<H\leqslant$6.0m	1000	36m
6.0m$<H\leqslant$9.0m	2000	60m；具有自然对流条件时，不应大于75m

续表

空间净高 H	最大允许面积（m^2）	长边最大允许长度
H>9.0m	防火分区允许的数值	

注　1. 走道宽度不大于 2.5m 时，其防烟分区的长边长度不应大于 60m。
2. 汽车库防烟分区的划分及其排烟量应符合 GB 50067—2014 的规定。

（二）自然排烟

（1）采用自然排烟系统的场所应设置排烟窗或开口。

（2）防烟分区内任一点与最近的排烟窗或开口之间的水平距离不应大于 30m。当工业建筑采用自然排烟方式时，其水平距离尚不应大于建筑内空间净高的 2.8 倍；当公共建筑空间净高大于或等于 6m，且具有自然对流条件时，其水平距离不应大于 37.5m。

（3）当疏散走道、会议室、多功能厅或餐厅等需排烟区域的自然排烟窗开口的面积、数量、位置满足以下要求时，排烟区域可采用自然排烟的形式，否则采用机械排烟形式：

1）建筑面积小于或等于 500m^2 的房间，排烟窗有效面积不应小于该房间建筑面积的 2%。

2）建筑面积大于 500m^2 的公共建筑，其排烟量不应小于表 12-11 中的数值，所需自然排烟窗的有效排烟面积应根据表 12-11、表 12-12 中的风量及排烟口风速计算。

表 12-11　办公建筑、厂房及其他公共建筑的计算排烟量及排烟口风速

空间净高（m）	办公建筑（$\times10^4m^3/h$）		厂房及其他公共建筑（$\times10^4m^3/h$）	
	无喷淋	有喷淋	无喷淋	有喷淋
3.0	7.8	3.0	9.9	3.9
4.0	9.3	3.4	11.6	4.8
5.0	10.7	4.3	13.3	5.9
6.0	12.2	5.2	15.0	7.0
7.0	13.9	6.3	16.8	8.2
8.0	15.8	7.4	18.9	9.6
9.0	17.8	8.7	21.1	11.1

表 12-12　办公建筑、厂房及其他公共建筑的排烟口风速

办公建筑（$\times10^4m^3/h$）		厂房及其他公共建筑（$\times10^4m^3/h$）	
无喷淋	有喷淋	无喷淋	有喷淋
0.94	0.64	1.01	0.74

表 12-11 中建筑空间净高低于 3.0m 的，按 3.0m 取值；建筑空间净高高于 9.0m 的，按 9.0m 取值；建筑空间净高位于表 12-11 中两个高度之间的，按线性插值法取值。自然排烟的储烟仓厚度应大于房间净高的 0.2 倍；排烟窗面积=计算排烟量/排烟口部风速；当采用顶开窗排烟时，其自然排烟口的风速可按侧窗口部风速的 1.4 倍计。

3）当公共建筑仅需在走道或回廊设置排烟时，在走道两端（侧）均设置面积不小于 2m^2 的排烟窗，且两侧排烟窗的距离不应小于走道长度的 2/3。

4）当公共建筑室内与走道或回廊均需设置排烟时，排烟窗有效面积分别不小于走道、回廊建筑面积的 2%。

（4）排烟窗或开口应设置在排烟区域的顶部或外墙，并应符合下列要求：

1）当设置在外墙上时，排烟窗或开口应在储烟仓以内，但走道、室内空间净高不大于 3m 的区域的排烟窗或开口可设置在室内净高度的 1/2 以上；

2）排烟窗应沿火灾烟气的气流方向开启；

3）当房间面积不大于 200m^2 时，排烟窗或开口的设置高度及开启方向可不限；

4）排烟窗或开口宜分散均匀布置，且每组的长度不宜大于 3.0m；

5）设置在防火墙两侧的排烟窗或开口之间水平距离不应小于 2.0m。

（5）排烟窗开启的有效面积还应符合下列要求：

1）当采用开窗角大于 70°的悬窗时，其面积应按窗的面积计算；当开窗角小于 70°时，其面积应按窗最大开启时的水平投影面积计算。

2）当采用开窗角大于 70°的平开窗时，其面积应按窗的面积计算；当开窗角小于 70°时，其面积应按窗最大开启时的竖向投影面积计算。

3）当采用推拉窗时，其面积应按开启的最大窗口面积计算。

4）当采用百叶窗时，其面积应按窗的有效开口面积计算。

5）当采用平推窗设置在顶部时，其面积应按窗的 1/2 周长与平推距离乘积计算，且不应大于窗面积。

6）当平推窗设置在外墙时，其面积应按窗的 1/4 周长与平推距离乘积计算，且不应大于窗面积。

（6）自然排烟窗应设置手动开启装置，设置在高位不便于直接开启的自然排烟窗，应设置距地面高度 1.3～1.5m 的手动开启装置。

（三）机械排烟

1. 机械排烟系统的设置

当需要设置排烟设施的疏散走道或房间不具备自然排烟条件时，应设置机械排烟设施。

（1）建筑排烟设计当采用水平向布置机械排烟方

式时，每个防火分区应独立设置机械排烟系统。

（2）建筑高度超过50m的公共建筑应竖向分段独立设置，且每段高度不宜超过50m。

（3）排烟系统与通风、空气调节系统应分开设置；除带回风循环管道的节能系统外，当确有困难时可以合用，但应符合排烟系统的要求，且当排烟口打开时，每台排烟风机承担的合用系统的管道上，需联动关闭的通风和空气调节系统的控制阀门不应大于15个。

（4）下列部位应设置排烟防火阀，排烟防火阀应符合GB 15930—2007的相关规定。

1）垂直风管与每层水平风管交接处的水平管段上；

2）一个排烟系统负担多个防烟分区的排烟支管上；

3）排烟风机入口处。

2. 机械排烟系统的排烟量

火力发电厂公共建筑中的疏散走道、会议室、多功能厅或餐厅的每个防烟分区的机械排烟量可按以下规定确定：

1）建筑面积小于或等于500m^2的房间，其排烟量不应小于60m^3/（h·m^2）；

2）建筑面积大于500m^2的公共建筑和工业建筑，其排烟量不应小于表12-11中的数值；

3）当公共建筑仅需在走道或回廊设置排烟时，机械排烟量不应小于13000m^3/h；

4）当公共建筑室内与走道或回廊均需设置排烟时，其走道或回廊的机械排烟量可按60m^3/（h·m^2）计算。

3. 机械排烟系统的补风

对于地上建筑的机械排烟的走道或面积小于500m^2的房间，由于这些场所的面积较小，排烟量也较小，可以利用建筑的各种缝隙，满足排烟系统所需的补风，为了简化系统管理和减少工程投入，可以不专门为这些场所设置补风系统。

在地下建筑的疏散走道或地上面积不小于500m^2的房间设置机械排烟系统时，应同时设置补风系统。补风系统应直接从室外引入空气，且补风量不应小于排烟量的50%。补风系统可采用疏散外门、手动或自动可开启外窗等自然进风方式以及机械送风方式。风机应设置在专用机房内。

补风口与排烟口设置在同一空间内相邻的防烟分区时，补风口位置不限；当补风口与排烟口设置在同一防烟分区时，补风口应设在储烟仓下沿以下；补风口与排烟口水平距离不应少于5m。机械补风口的风速不宜大于10m/s，人员密集场所补风口的风速不宜大于5m/s；自然补风口的风速不宜大于3m/s。

补风管道耐火极限不应低于0.5h，当补风管道跨越防火分区时，管道的耐火极限不应小于1.5h。

补风系统应与排烟系统联动开闭。

4. 排烟风机的设置

排烟风机的设置应符合下列规定：

1）排烟风机的设计风压、风量应经计算确定，且设计风量不应小于计算量的1.2倍。

2）排烟风机宜设置在排烟系统的顶部，烟气出口宜朝上，并应高于加压送风机和补风机的进风口。排烟风机的出风口不应与加压送风机和补风机的进风口设在同一层面，当必须设在同一层面时，送风机和补风机的进风口与排烟风机的出风口应分开布置。竖向布置时，排烟机出风口应设置在送风机和补风机进风口的上方，两者边缘最小垂直距离不应小于3.0m；水平布置时，两者边缘最小水平距离不应小于10.0m。

3）排烟风机应设置在专用机房内，且风机两侧应有600mm以上的空间。对于排烟系统与通风空气调节系统共用的系统，其排烟风机与排风风机的合用机房应符合下列规定：

a．机房内应设有自动喷水灭火系统。

b．机房内不得设有用于机械加压送风的风机与管道。

c．排烟风机与排烟管道上不宜设有软接管。当排烟风机及系统中设置有软接头时，该软接头应能在280℃的环境条件下连续工作不少于30min。

4）排烟风机可采用离心式或轴流排烟风机，且风机应满足280℃时连续工作30min的要求，排烟风机应与风机入口处的排烟防火阀联锁，当该阀关闭时，排烟风机应能停止运转。

5. 排烟系统管道及附件设置

（1）排烟管道。

1）排烟管道应采用光滑的不燃材料制作，且不应采用土建井道。当采用金属风道时，管道设计风速不应大于20m/s；当采用非金属材料管道时，管道设计风速不应大于15m/s；排烟管道的厚度应按GB 50243—2016高压系统矩形风管板材厚度选取。

2）排烟管道的设置和耐火极限应符合下列要求：

a．竖向设置的排烟管道应设置在独立的管道井内，排烟管道的耐火极限不应低于0.5h。

b．水平设置的排烟管道应设置在吊顶内，排烟管道的耐火极限不应低于0.5h；当确有困难时，可直接设置在室内，但管道的耐火极限不应小于1.0h。

c．设置在走道部位吊顶内的排烟管道，以及穿越防火分区的排烟管道，其管道的耐火极限不应小于1.0h，但设备用房和汽车库的排烟管道耐火极限可不低于0.5h。

3）当吊顶内有可燃物时，吊顶内的排烟管道应采

用不燃材料进行隔热，并应与可燃物保持不小于150mm的距离。

4）设置排烟管道的管道井应采用耐火极限不小于1.0h的隔墙与相邻区域分隔；当墙上必须设置检修门时，应采用乙级防火门。

（2）排烟管道配件。

1）当排烟口设在吊顶内，通过吊顶上部空间进行排烟时，应符合下列规定：

a．吊顶应采用不燃材料，且吊顶内不应有可燃物。

b．封闭式吊顶的吊平顶上设置的烟气流入口的颈部烟气速度不宜大于1.5m/s。

c．非封闭吊顶的吊顶开孔率不应小于吊顶净面积的25%，且排烟口应均匀布置。

2）排烟口的设置尚应符合下列要求：

a．排烟口宜设置在顶棚或靠近顶棚的墙面上。

b．排烟口应设在防烟分区所形成的储烟仓内，但走道、室内空间净高不大于3m区域，其排烟口可设置在其净空高度的1/2以上；当设置在侧墙时，吊顶与其最近的边缘的距离不应大于0.5m。

c．对于需要设置机械排烟系统的房间，当其建筑面积小于50m^{2}时，可通过走道排烟，排烟口可设置在疏散走道；排烟量应按60m^3/（h·m^2）计算。

d．火灾时由火灾自动报警系统联动开启排烟区域的排烟阀或排烟口，应在现场设置手动开启装置。

e．排烟口的设置宜使烟流方向与人员疏散方向相反，排烟口与附近安全出口相邻边缘之间的水平距离不应小于1.5m。

f．排烟口的风速不宜大于10m/s。

g．每个排烟口的排烟量不应大于最大允许排烟量，最大允许排烟量V_{max}应按式（12-9）计算，即

$$V_{max} = 4.16\gamma d_b^{5/2}\left(\frac{T-T_0}{T_0}\right)^{1/2} \qquad (12\text{-}9)$$

式中　V_{max}——排烟口最大允许排烟量，m^3/s；

γ——排烟位置系数，当风口中心点到最近墙体的距离≥2倍的吸入口当量直径时取1.0，当风口中心点到最近墙体的距离＜2倍的吸入口当量直径时取0.5，当吸入口位于墙体上时取0.5；

d_b——排烟系统吸入口最低点以下烟气层厚度，m；

T——烟层的平均绝对温度，K；

T_0——环境的绝对温度，K。

3）排烟口或排烟阀平时为关闭时，应设置手动和自动开启装置，手动开启装置应便于操作。

4）机械排烟系统中的风口、阀门、密封垫料、支吊架等必须采用不燃材料制作。

6．排烟系统联动控制

（1）除手动自然排烟窗外，排烟系统应与火灾自动报警系统联锁。

（2）排烟风机、补风机的控制方式，应符合下列要求：

1）现场手动启动；

2）消防控制室手动启动；

3）火灾自动报警系统自动启动；

4）系统中任一排烟阀或排烟口开启时，排烟风机、补风机自动启动；

5）排烟防火阀在280℃时应自行关闭，并应联锁关闭排烟风机。

（3）机械排烟系统中的常闭排烟阀或排烟口应具有火灾自动报警系统自动开启、消防控制室手动开启和现场手动开启功能，其开启信号应与排烟风机联动。当火灾确认后，火灾自动报警系统应在15s内联动开启同一排烟区域的全部排烟阀、排烟口、排烟风机和补风设施，并应在30s内自动关闭与排烟无关的通风、空气调节系统。

（4）当火灾确认后，担负两个及以上防烟分区的排烟系统，应仅打开着火防烟分区的排烟阀或排烟口，其他防烟分区的排烟阀或排烟口应呈关闭状态。

（5）活动挡烟垂壁应具有火灾自动报警系统自动启动和现场手动启动功能，当火灾确认后，火灾自动报警系统应在15s内联动相应防烟分区的全部活动挡烟垂壁。

（6）自动排烟窗可采用与火灾自动系统联动或温度释放装置联动的控制方式。当采用与火灾自动报警系统自动启动时，自动排烟窗应在60s内或小于烟气充满储烟仓时间内开启完毕。带有温控功能的自动排烟窗，其温控释放温度应大于环境温度30℃且小于100℃。

（7）消防控制设备应显示排烟系统的排烟风机、补风机、阀门等设施启闭状态。

（四）汽车库排烟

除敞开式汽车库、建筑面积小于1000m^{2}的地下一层汽车库外，汽车库应设排烟系统，并应划分防烟分区。防烟分区的面积不宜超过2000m^2。排烟系统可采用自然排烟和机械排烟两种方式。机械排烟系统可与人防、卫生、排气或通风系统合用。

当采用自然排烟时，可采用手动排烟窗、自动排烟窗、空洞等作为自然排烟口，总面积不应小于室内地面面积的2%。排烟口应设置在外墙上方或屋顶上，并应设置方便开启的装置。房间外墙上的排烟口（窗）宜沿外墙方向均匀分布，排烟口（窗）的下沿不应低于室内净高的1/2，并应沿气流方向开启。

每个防烟分区的机械排烟量不应小于30000m^3/h

且不应小于表 12-13 中的数值。

表 12-13　　汽车库的排烟量

汽车库的净高（m）	汽车库的排烟量（m^3/h）	汽车库的净高（m）	汽车库的排烟量（m^3/h）
3.0 及以下	30000	3.1～4.0	31500
4.1～5.0	33000	5.1～6.0	34500
6.1～7.0	36000	7.1～8.0	37500
8.1～9.0	39000	9.1 及以上	40500

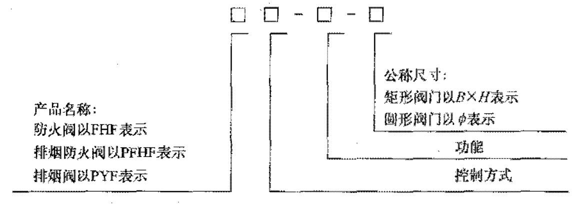
汽车库内无直接通向室外的汽车疏散出口的防火分区，当设置机械排烟系统时，应同时设置补风系统，且补风量不宜小于排烟量的 50%。

四、防烟和排烟系统的设备及阀门选择

（一）建筑通风和排烟系统用防火阀门

1．建筑通风和排烟系统用防火阀门的分类

防火阀门可以按照控制方式、功能和外形分别分类。防火阀的名称符号为 FHF，排烟防火阀的名称符号为 PFHF，排烟阀的名称符号为 PYF。防火阀门的标记如下。



标记示例：

示例 1：FHF WSDj-F-360×500 表示具有温感器自动关闭、手动关闭、电控电动机关闭方式和风量调节功能，公称尺寸为 630mm×500mm 的防火阀。

示例 2：PFHF WSDc-Y-ϕ1000 表示具有温感器自动关闭、手动关闭、电控电磁铁关闭方式和远距离复位功能，公称直径为 1000mm 的排烟防火阀。

示例 3：PYF SDc-K-400×400 表示具有手动开启、电控电磁铁开启方式和阀门开启位置信号反馈功能，公称尺寸为 400mm×400mm 的排烟阀。

防火阀门控制方式及功能分类分别见表 12-14 和表 12-15。

表 12-14　　按阀门控制方式分类

代号		控制方式	
W		温感器控制自动关闭	
S		手动控制关闭或开启	
D	D_c	电动控制关闭或开启	电控电磁铁关闭或开启
	D_j		电控电动机关闭或开启
	D_q		电控气动机构关闭或开启

注　排烟阀没有温感器控制方式。

表 12-15　　按阀门功能分类

代号	功能
F	具有风量调节功能
Y	具有远距离复位功能
K	具有阀门关闭或开启后阀门位置信号反馈功能

注　排烟防火阀和排烟阀不要求风量调节功能。

2．排烟系统用防火阀门及风口

排烟防火阀安装在机械排烟系统的管道上，平时呈开启状态，火灾时当排烟管道内烟气温度达到 280℃时关闭，并在一定时间内能满足漏烟量和耐火完整性要求，起隔烟阻火作用。排烟防火阀一般由阀体、叶片、执行机构和温感器等部件组成。

排烟阀安装在机械排烟系统各支管端部的烟气吸入口处，平时呈关闭状态并满足漏风量要求，火灾或需要排烟时手动和电动打开，起排烟作用。带有装饰口或进行装饰处理的阀门称为排烟口。排烟阀一般由阀体、叶片、执行机构等部件组成。

防烟排烟系统常用的阀门及风口基本分类见表 12-16。

表 12-16　　防烟排烟系统常用的阀门及风口基本分类

类别	名称	性能及用途	外形
防烟类	加压送风口	靠感烟火灾探测器控制，电信号开启，也可手动（或远距离缆绳开启），可设 70℃温度熔断器重新关闭装置，输出电信号联动送风机开启。用于加压送风系统的风口，防止外部烟气进入	铝合金风口；门；70℃温度熔断器；叶片；电缆线；远程控制装置

续表

类别	名称	性能及用途	外　　形
排烟类	排烟阀	电信号开启或手动开启，输出开启电信号联动排烟机开启，用于排烟系统风管上	吊装件 观察孔 执行器
	排烟防火阀	电信号开启，手动开启，输出动作电信号，用于排烟风机吸入口管道或排烟支管上。采用280℃温度熔断器重新关闭	观察孔 吊装件 执行器 熔断器
	排烟口	电信号开启，手动（或远距离缆绳）开启，输出电信号联动排烟机，用于排烟房间的顶棚或墙壁上。采用280℃重新关闭装置	钢丝绳 钢丝绳 执行器 叶片 手动开放装置

（二）消防高温排烟风机

消防高温排烟风机基本形式为轴流式结构，采用耐高温电动机，配设专门的电动机冷却系统，在介质温度300℃高温条件下连续运转60min以上，100℃温度条件下连续运转20h不损坏，可用于通风和排烟。

消防高温排烟风机按照安装方式可分为卧式和屋顶式，按照风量风压可分为常压型、中压型和低压型，按照调速方式还可分成单速、双速和变频风机。为适应不同场所噪声要求，风机还可配不同长度消声器，也可做成包覆式。

火力发电厂需要排烟的疏散走道、房间等场所的排烟系统可选用常压型单速消防高温排烟轴流风机。汽车库通风系统可采用双速高温排烟风机，正常通风采用低转速，排烟时采用高转速。

附　　录

附录A　火力发电厂各建筑物室内设计参数

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">房间名称</th><th colspan="2">冬季</th><th colspan="2">夏季</th><th rowspan="2">备注</th></tr>
<tr><th>温度（℃）</th><th>相对湿度（%）</th><th>温度（℃）</th><th>相对湿度（%）</th></tr>
<tr><td rowspan="7">主厂房</td><td colspan="2">汽机房</td><td>5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">锅炉房</td><td>5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">除灰间</td><td>16</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">低温仪表盘架间</td><td>18</td><td>—</td><td>26</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">各类就地值班室、办公室</td><td>18</td><td>—</td><td>26～28</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">就地控制室</td><td>18</td><td>—</td><td>26～28</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">化学加药间</td><td>18</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">集中控制楼</td><td colspan="2">电子设备室</td><td>20±1</td><td>50±10</td><td>26±1</td><td>50±10</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">继电器室、SIS 室、MIS 室</td><td>18～22</td><td>40～65</td><td>24～28</td><td>40～65</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">集中控制室、单元控制室、工程师室、打印室</td><td>18～22</td><td>40～65</td><td>24～28</td><td>40～65</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">交接班室、会议室、低温仪表盘架间</td><td>18</td><td>—</td><td>26</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">值班室、办公室</td><td>18</td><td>—</td><td>26～28</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">空气调节机房</td><td>5</td><td>—</td><td>≤40</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="17">电气建筑</td><td colspan="2">网络控制室</td><td>18～22</td><td>40～65</td><td>24～28</td><td>40～65</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">变压器间</td><td>油浸式</td><td>—</td><td>—</td><td>≤45</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td>干式</td><td>—</td><td>—</td><td>≤40</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">热工仪表室、实验室、标准间</td><td>18</td><td>—</td><td>26～28</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">电气实验室</td><td>18</td><td>—</td><td>≤30</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">不停电电源室</td><td>18</td><td>—</td><td>≤30</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">直流屏室</td><td>5</td><td>—</td><td>≤30</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">励磁盘室</td><td>室内有励磁调节器</td><td>18</td><td>—</td><td>≤30</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td>室内无励磁调节器</td><td>≥5</td><td>—</td><td>≤35</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">防酸隔爆蓄电池室</td><td>18</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">阀控密闭式蓄电池室</td><td>20</td><td>—</td><td>≤30</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">厂用配电装置室</td><td>主厂房、集中控制楼及除尘除灰运煤建筑</td><td>≥5</td><td>—</td><td>≤35</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td>位于其他建筑内</td><td>≥5</td><td>—</td><td>≤40</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">通信机房</td><td>18</td><td>—</td><td>26～28</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">变频器室</td><td>≥5</td><td>—</td><td>≤35</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">出线小室</td><td>—</td><td>—</td><td>≤40</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">电抗器室</td><td>—</td><td>—</td><td>≤40</td><td>—</td><td></td></tr>
</table>

续表

房间名称			冬季		夏季		备注
			温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
电气建筑	母线室、母线桥		—	—	≤45	—	
	油断路器室		—	—	≤50	—	
	电缆隧道、电缆层		—	—	≤40	—	
	电除尘器控制室		18	—	26～28	—	
	SF_6 GIS 电气设备室		—	—	≤40	—	
	电梯机房		5	—	≤35	—	
	柴油发电机室		5	—	≤40	—	
运煤建筑	煤仓间		10	—	—	—	
	地上转运站		10	—	—	—	
	地下转运站		16	—	—	—	
	碎煤机室		10	—	—	—	
	翻车机室		10	—	—	—	
	卸煤沟	地上	10	—	—	—	
		地下	16	—	—	—	
	除尘器间		10	—	—	—	
	机车库、推煤机库		10	—	—	—	
	休息室		18	—	26～28	—	
	运煤栈桥（地上）		10	—	—	—	
	运煤栈桥（地下）		16	—	—	—	
	运煤集中控制室		18	—	26～28	—	
	轨道衡控制室		18	—	26～28	—	
	沉淀池		10	—	—	—	
	翻车机、牵车机控制室		18	—	26～28	—	
	运煤综合楼办公室		18	—	26～28	—	
化学建筑	电渗析、反渗透、蒸发器间		5	—	—	—	不计设备散热量
	过滤器、离子交换器间		10	—	—	—	
	酸库		10	—	—	—	
	碱库（包括酸碱共库）		16	—	—	—	
	化学集中控制室		18	—	26～28	—	
	化学药品库		10	—	—	—	
	石灰库		10	—	—	—	
	石灰及凝聚剂间、消石灰间		16	—	—	—	
	化验室、煤制样室		18	—	—	—	根据工艺要求设空气调节
	天平间、精密仪器间		18	—	—	—	
	热计量室、微量分析室		18	—	—	—	
	澄清池间		10	—	—	—	

续表

房间名称		冬季		夏季		备注
		温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	
化学建筑	加氯间、加药间	16	—	—	—	
	氨库、联胺加药间	16	—	—	—	
	油水分析室	18	—	—	—	根据工艺要求设空气调节
	气相色谱仪室	18	—	—	—	
	凝结水精处理控制室	18	—	26～28	—	
	海水淡化预处理清水泵房、泥饼间、污泥泵房、脱水机间	5	—	—	—	
	反渗透法清洗间、海水淡化间、水泵房	16	—	—	—	
	蒸馏法热交换器间	5	—	—	—	
	循环水处理间	5	—	—	—	
	氧气站、氢气站的操作间	≥15	—	—	—	
	氢气贮罐间、低温液贮槽间	5	—	—	—	
	氧气、氢气的实瓶间、空瓶间	≥10	—	—	—	
生产辅助建筑	灰渣泵房	5	—	≤40	—	
	引风机室	16	—	—	—	
	电除尘器室、水膜除尘器室	10	—	—	—	
	空气压缩机室	5	—	≤40	—	
	启动锅炉房	5	—	—	—	
	油泵房	16	—	≤40	—	
	各类水泵房	5	—	—	—	
	各类污水处理站	16	—	—	—	
	各类修配类建筑	16	—	—	—	按工艺要求设空气调节
	生产办公室、培训类建筑	18	—	26～28	—	
	实验类建筑	18	—	—	—	按工艺要求设空气调节
	各类车库、仓库	10	—	—	—	按工艺要求设空气调节
	危险品库	5	—	≤35	—	
	脱硫工艺楼	10	—	—	—	
	GGH 设备间	16	—	—	—	
	石灰石卸料间	10	—	—	—	
	浆液循环泵房	5	—	—	—	
	氨液蒸发设备间	5	—	—	—	
	尿素车间	5	—	—	—	
	灰库	10	—	—	—	
	石膏库	5	—	—	—	
	脱硫电子设备间、脱硫控制室	18～22	40～65	24～28	40～65	

附录B 室内热水供暖系统水力计算表

表 B-1 室内热水供暖系统水力计算表（热媒为 80/60℃热水）

公称直径		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G (kg/h)	*Q* (W)	*R* (Pa/m)	*v* (m/s)	*R* (Pa/m)	*v* (m/s)	*R* (Pa/m)	*v* (m/s)	*R* (Pa/m)	*v* (m/s)	*R* (Pa/m)	*v* (m/s)
40	930	5.82	0.06								
56	1302	10.74	0.08								
64	1488	13.74	0.09								
72	1674	17.09	0.11								
80	1860	20.80	0.12	4.60	0.06						
88	2047	24.86	0.13	5.47	0.07						
105	2442	34.67	0.16	7.56	0.09	2.29	0.05				
145	3372	64.02	0.21	13.77	0.12	4.12	0.07				
175	4302	102.18	0.27	21.77	0.15	6.46	0.09				
210	4884	130.49	0.31	27.68	0.17	8.17	0.11				
290	6744	244.17	0.43	51.24	0.24	14.97	0.15				
330	7674	314.20	0.49	65.48	0.27	19.12	0.17				
370	8605	393.00	0.55	81.91	0.30	23.76	0.19				
410	9535	480.60	0.61	99.90	0.33	28.90	0.21				
450	10465	576.97	0.66	119.67	0.37	35.54	0.23	8.21	0.13	4.11	0.10
490	11395	682.13	0.72	141.21	0.40	40.67	0.25	9.64	0.14	4.82	0.11
560	13023	887.3	0.83	183.18	0.45	52.60	0.28	12.41	0.16	6.19	0.12
640	14884	1154.71	0.95	237.80	0.52	68.08	0.32	16.00	0.18	7.95	0.14
720	16744	1457.27	1.06	299.50	0.58	85.55	0.36	20.03	0.21	9.94	0.16
880	20465	2167.76	1.30	444.16	0.71	126.43	0.44	29.44	0.25	14.56	0.19
1050	24419	3076.65	1.55	629.00	0.85	178.54	0.53	41.39	0.30	20.41	0.23
1250	29070	4349.05	1.85	887.42	1.01	251.39	0.63	58.02	0.36	28.55	0.27
1450	33721			1190.16	1.18	336.43	0.73	77.44	0.42	38.03	0.32
1650	38372			1537.21	1.34	433.93	0.83	99.65	0.47	48.86	0.36
1850	43031			1928.59	1.50	543.80	0.93	124.64	0.53	61.03	0.40
2100	48850			2480.00	1.70	698.55	1.06	159.79	0.60	78.15	0.46
2300	53488			2971.21	1.87	836.26	1.16	191.04	0.66	93.35	0.50
2700	62791					1148.80	1.36	261.89	0.77	127.80	0.59
3300	76744					1710.40	1.66	389.05	0.95	189.56	0.72
3700	86047					2146.66	1.86	487.74	1.06	237.46	0.81
4100	95349					2632.41	2.06	597.56	1.18	290.75	0.89
4500	104651					3167.65	2.26	718.51	1.29	349.42	0.92
4900	113953							850.59	1.40	413.46	1.07
5600	130256							1108.53	1.61	538.50	1.22

续表

公称直径		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G (kg/h)	Q (W)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)
6000	139560							1271.23	1.72	617.35	1.31
7200	167472							1630.02	1.95	791.20	1.48
8000	180800							2033.35	2.18	986.57	1.66
8400	195384							2251.71	2.29	1092.33	1.74
8800	204688									1203.47	1.83
公称直径		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
G (kg/h)	Q (W)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)
3100	72093	43.99	0.40	12.16	0.25	5.14	0.18				
3500	81395	55.74	0.46	15.37	0.28	6.47	0.20				
4100	95349	75.95	0.53	20.87	0.32	8.77	0.23				
4900	113953	10774	0.64	29.50	0.39	12.36	0.28				
5600	130233	140.10	0.73	3.27	0.44	16.00	0.32				
6000	139535	160.48	0.78	43.80	0.48	18.29	0.34	4.47	0.20		
7200	167442	229.94	0.94	62.58	0.57	26.08	0.41	6.33	0.23		
8000	186047	283.15	1.04	76.96	0.63	32.03	0.45	7.76	0.26		
9500	220930	397.82	1.24	107.91	0.75	44.83	0.54	10.82	0.31		
10500	244186	485.07	1.37	131.43	0.83	54.55	0.59	13.13	0.34	4.44	0.22
12500	290698	685.48	1.63	185.42	0.99	76.83	0.71	18.44	0.41	6.21	0.27
16500	383721	1189.94	2.15	321.18	1.31	132.81	0.93	31.72	0.54	10.63	0.35
18500	430233	1493.99	2.41	402.94	1.47	166.49	1.05	39.70	0.60	13.28	0.39
21000	488372	1922.64	2.74	518.15	1.66	213.95	1.19	50.93	0.68	17.00	0.45
25000	581395			732.58	1.98	302.22	1.41	71.79	0.82	23.91	0.53
29000	674419			984.04	2.30	405.69	1.64	96.21	0.95	31.99	0.62
32000	744186					493.26	1.81	116.88	1.04	38.82	0.68
36000	837209					623.33	2.04	147.54	1.17	48.95	0.77
40000	930233					768.59	2.26	181.78	1.30	60.25	0.85
44000	1023256					929.05	2.49	219.58	1.43	72.72	0.94
48000	1116279					1104.70	2.71	260.94	1.57	86.36	1.02
52000	1209302							305.87	1.70	101.18	1.11
56000	1302326							354.37	1.83	117.16	1.20
60000	1395349							433.79	2.02	143.33	1.32
64000	1488372							462.05	2.09	152.64	1.37
68000	1581395							521.25	2.22	172.13	1.45
75000	1744186							633.41	2.45	209.07	1.60

表 B-2　　室内热水供暖系统水力计算表（热媒为 95/70℃热水）

公称直径		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G（kg/h）	*Q*（W）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）
72	2093	17.09	0.11								
80	2326	20.80	0.12	4.19	0.06						
88	2558	24.86	0.13	5.02	0.07						
95	2762	28.70	0.14	5.47	0.07						
105	3052	34.67	0.16	6.29	0.08						
125	3634	48.24	0.18	8.95	0.09						
135	3924	55.86	0.20	40.44	0.10						
145	4215	64.02	0.21	12.05	0.11	4.12	0.07				
155	4506	72.74	0.23	13.77	0.12	0.466	0.08				
165	4797	82.00	0.24	15.61	0.13	5.23	0.08				
175	5087	91.81	0.26	17.55	0.13	5.82	0.09				
185	5378	102.18	0.27	19.61	0.14	6.46	0.09				
195	5669	113.09	0.29	21.77	0.15	7.12	0.10				
210	6105	132.00	0.30	29.68	0.17	8.17	0.11				
250	7267	182.94	0.37	38.57	0.20	11.32	0.13				
290	8430	244.17	0.43	51.24	0.24	14.97	0.15				
350	10174	352.50	0.52	73.57	0.28	21.38	0.18				
410	11919	480.60	0.61	99.90	0.363	28.90	0.21	6.90	0.12		
490	14244	682.13	0.72	141.21	0.40	40.67	0.25	9.64	0.14	4.82	0.11
560	16279	887.30	0.83	183.18	0.45	52.60	0.28	12.41	0.16	6.19	0.12
600	17442	1016.62	0.89	209.60	0.49	60.09	0.30	14.15	0.17	7.04	0.13
680	19767	1294.15	0.99	267.76	0.55	76.57	0.34	17.96	0.19	8.95	0.15
800	23256	1781.37	1.16	368.30	0.65	105.00	0.40	24.51	0.23	12.14	0.17
880	25581	2149.31	1.28	444.16	0.71	126.43	0.44	29.44	0.25	14.56	0.19
950	27616	2505.21	1.38	516.41	0.77	146.80	0.48	34.12	0.27	16.85	0.21
1050	30523			629.00	0.854	178.54	0.53	41.39	0.30	20.41	0.23
1150	33430			752.67	0.93	213.37	0.58	49.36	0.33	24.31	0.25
1250	36337			887.42	1.01	251.39	0.63	58.02	0.36	28.55	0.27
1350	39244			1033.25	1.10	292.31	0.68	67.38	0.39	33.12	0.29
1450	42151			1181.80	1.16	336.43	0.73	77.44	0.42	38.03	0.325
1650	47965			1524.35	1.31	433.93	0.83	99.65	0.47	48.86	0.36
1850	53779			1910.29	1.47	543.80	0.93	124.64	0.53	61.03	0.40
2100	61047					698.55	1.06	159.79	0.60	78.15	0.46
2500	72674					986.36	1.26	225.07	0.72	109.90	0.54
3100	90116							343.88	0.89	167.63	0.68
4100	119186							597.56	1.18	290.75	0.89
4900	142442							850.59	1.40	413.46	1.07
6000	174419									617.35	1.31
6800	197674									791.20	1.48

续表

公称直径		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
3100	90166	43.99	0.40	12.16	0.25	5.14	0.18				
3500	101745	55.74	0.46	15.37	0.28	6.47	0.20				
4300	125000	83.38	0.56	22.89	0.34	9.61	0.24				
5200	151164	121.09	0.68	33.12	0.41	13.86	0.29				
6000	174419	160.48	0.78	43.80	0.48	18.29	0.34	4.47	0.20		
7600	220935	255.85	0.99	69.59	0.60	28.98	0.43	7.03	0.25		
8400	244188	311.83	1.10	84.70	0.67	35.23	0.47	8.53	0.27		
10500	305235	485.07	1.37	131.43	0.83	54.55	0.59	13.13	0.34	4.44	0.22
14500	421515	920.43	1.89	248.67	1.15	102.92	0.82	24.63	0.47	8.27	0.31
18500	537795	1493.99	2.41	402.94	1.47	166.49	1.05	39.70	0.60	13.28	0.39
23000	668610			620.74	1.82	256.18	1.30	60.91	0.75	20.31	0.49
27000	784890			853.68	2.14	352.05	1.53	83.56	0.88	27.91	0.58
32000	930240					493.26	1.81	116.88	1.04	38.82	0.68
36000	1045440					623.33	2.04	147.54	1.17	48.65	0.77
40000	1162800					768.59	2.26	181.78	1.30	60.25	0.85
44000	1279080					929.05	2.49	219.58	1.43	72.72	0.94
48000	1395360					1104.70	2.71	260.94	1.57	86.36	1.02
52000	1511640							305.87	1.70	101.18	1.11
56000	1627920							354.37	1.83	117.16	1.20
60000	1744200							433.79	2.02	143.33	1.32
68000	1976760							521.25	2.22	172.13	1.45
75000	2180250							633.41	2.45	209.07	1.60

表 B-3　　室内热水供暖系统水力计算表（热媒为 110/70℃热水）

公称直径		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
88	4093	24.86	0.13	5.47	0.07						
95	4419	28.70	0.14	6.29	0.08						
105	4884	34.67	0.16	7.56	0.09	2.29	0.05				
125	5814	48.24	0.18	10.44	0.10	3.14	0.06				
145	6744	64.02	0.21	13.77	0.12	4.12	0.07				
165	7674	82.00	0.24	17.55	0.13	5.23	0.08				
185	8605	102.18	0.27	21.77	0.15	6.46	0.09				
210	9767	130.49	0.31	27.68	0.17	8.17	0.11				
250	11628	182.94	0.37	38.57	0.20	11.32	0.13				
290	13488	244.17	0.43	51.24	0.24	14.97	0.15				
330	15349	314.20	0.49	65.48	0.27	19.12	0.17				
370	17209	393.00	0.55	81.91	0.30	23.76	0.19	5.69	0.11		

续表

公称直径		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G (kg/h)	Q (W)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)
410	19070	480.60	0.61	99.90	0.33	28.90	0.21	6.90	0.12		
450	20930	576.97	0.66	119.67	0.37	35.54	0.23	8.21	0.13	4.11	0.10
520	24186	766.77	0.77	158.54	0.42	45.50	0.26	10.79	0.15	5.38	0.11
380	31628	1301.60	1.00	267.76	0.55	76.57	0.34	17.96	0.19	8.92	0.15
760	35349	1621.72	1.12	333.01	0.62	95.03	0.38	22.22	0.22	11.01	0.17
880	40930	2167.76	1.30	444.16	0.71	126.43	0.44	29.44	0.25	14.56	0.19
1050	48837			629.00	0.85	178.54	0.53	41.39	0.60	20.41	0.23
1250	58140			887.42	1.01	251.39	0.63	58.02	0.36	28.55	0.27
1450	67442			1190.16	1.18	336.43	0.73	77.44	0.42	38.03	0.32
1650	76744			1537.21	1.34	433.93	0.83	99.65	0.47	48.86	0.36
1850	86047					543.80	0.93	124.64	0.53	61.03	0.40
2500	116279					986.34	1.26	225.07	0.72	109.90	0.54
2900	134884					1323.63	1.46	301.49	0.83	147.04	0.63
3300	153488							389.05	0.95	189.56	0.72
4100	190698							597.56	1.18	290.75	0.86
4300	200000							656.64	1.23	319.41	0.94
4700	218606							783.16	1.35	380.77	1.02
5200	241862							956.96	1.49	465.03	1.13

公称直径		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
G (kg/h)	Q (W)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)
1350	62791	8.86	0.18								
1750	81395	14.56	0.23	4.09	0.14						
1950	90698	17.92	0.25	5.01	0.15						
2300	106977	24.65	0.30	6.86	0.18						
2700	125581	33.63	0.35	9.33	0.21						
3100	144186	43.99	0.40	12.16	0.25	5.14	0.18				
3500	162791	55.74	0.46	15.37	0.28	6.47	0.20				
3900	181395	68.87	0.51	18.94	0.31	7.97	0.22				
4300	200000	83.38	0.56	22.89	0.34	9.61	0.24				
4700	218605	99.28	061	27.21	0.37	11.41	0.27				
5200	241860	121.09	0.68	33.12	0.41	13.86	0.29				
6000	279070	160.48	0.748	43.80	0.48	18.29	0.34	4.47	0.20		
7600	353488	255.85	0.99	69.59	0.60	28.98	0.43	7.03	0.25		
8000	372093	283.15	1.04	76.96	0.63	32.03	0.45	7.76	0.26		
9500	441860	397.82	1.24	107.91	0.75	44.83	0.54	10.82	0.31	3.66	0.20
12500	581395	685.48	1.63	185.42	0.99	76.83	0.71	18.44	0.41	6.21	0.27
14500	674419	920.43	1.89	248.67	1.15	102.92	0.82	24.63	0.47	8.24	0.31
16500	767442	1189.94	2.15	321.18	1.31	132.81	0.93	31.72	0.54	10.63	0.35

续表

公称直径		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
18500	860465			402.94	1.47	166.49	1.05	39.70	0.60	13.28	0.39
21000	976744			518.15	1.66	213.95	1.19	50.93	0.68	17.00	0.45
25000	1162791			732.58	1.98	302.22	1.41	71.79	0.82	23.91	0.53
29000	1348837			984.04	2.30	405.69	1.64	96.21	0.95	31.99	0.62
36000	1674419					623.33	2.04	147.54	1.17	48.95	0.77
40000	1860465					768.59	2.26	181.78	1.30	60.25	0.85
44000	2046512					929.05	2.49	219.58	1.43	72.72	0.94
48000	2232558					1104.70	2.71	260.94	1.57	56.36	1.02

表 B-4 室内热水供暖系统水力计算表（热媒为 130/70℃热水）

公称直径		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
115	8023	41.18	0.17	8.95	0.09						
155	10814	72.74	0.23	15.61	0.13	4.66	0.08				
195	13605	113.09	0.29	24.05	0.16	7.12	0.10				
230	16047	155.62	0.34	32.90	0.19	9.68	0.12				
310	21628	278.09	0.46	58.24	0.25	16.98	0.16				
390	27209	453.70	0.58	90.68	0.32	26.27	0.20				
470	32791	628.45	0.69	130.22	0.38	37.54	0.24	8.91	0.13		
560	39070	887.30	0.83	183.18	0.45	52.60	0.28	12.41	0.16	6.19	0.12
600	41860	1016.62	0.89	209.60	0.49	60.09	0.30	14.15	0.17	7.04	0.13
760	23023			333.01	0.62	95.03	0.38	22.22	0.22	11.01	0.17
840	58605			405.36	0.68	115.47	0.42	26.92	0.24	13.32	0.18
950	66279			516.41	0.77	146.80	0.48	34.12	0.27	16.85	0.21
1250	87209			887.42	1.01	251.39	0.63	58.02	0.36	28.55	0.27
1450	101163			1190.16	1.18	336.43	0.73	77.44	0.42	38.03	0.32
1650	115116					433.93	0.83	99.65	0.47	48.86	0.36
2100	146512					698.55	1.06	159.79	0.60	78.15	0.46
2500	174419					986.34	1.26	225.07	0.72	109.90	0.54
2900	202326							301.49	0.83	147.04	0.63
3300	230233							389.05	0.95	189.586	0.72
3700	258140							487.74	1.06	237.46	0.81
4500	313953							718.51	1.29	349.42	0.98
4900	341860							850.59	1.40	413.46	1.07
5200	362791							956.96	1.49	465.03	1.13
6000	418605							1271.23	1.72	617.35	1.31
6800	474419									791.20	1.48
7600	530233									956.57	1.66
8000	558140									1092.33	1.74
8400	586047									1203.47	1.83

续表

公称直径		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
G（kg/h）	*Q*（W）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）
1450	101163	10.16	0.19								
1850	129070	16.20	0.24	4.54	0.15						
2100	146512	20.67	0.27	5.77	0.17						
2500	174419	28.96	0.33	8.05	0.20						
3300	230233	49.69	0.43	13.72	0.26						
4100	286047	75.95	0.53	20.87	0.32	8.77	0.23				
4900	341860	107.74	0.64	29.50	0.39	12.36	0.28				
5600	390698	140.10	0.73	38.27	0.44	16.00	0.32	3.91	0.18		
6000	418605	160.48	0.78	43.80	0.48	18.296	0.34	4.47	0.20		
7200	502326	229.94	0.94	62.58	0.57	26.08	0.41	6.33	0.23		
8000	558140	283.15	1.04	76.96	0.63	32.03	0.45	7.76	0.26		
8800	613953	341.89	1.15	92.82	0.70	38.59	0.50	9.33	0.29		
9500	662791	397.82	1.24	107.91	0.75	44.83	0.54	10.82	0.31		
13500	941860	798.63	1.76	215.89	1.07	89.40	0.76	21.42	0.44	7.20	0.28
17500	1220930	1337.64	2.28	360.90	1.39	149.18	0.99	35.60	0.57	11.92	0.37
23000	1604651			620.74	1.82	256.18	1.30	60.91	0.75	20.31	0.49
25000	1744186					302.22	1.41	71.79	0.82	23.91	0.53
29000	2023256					405.69	1.64	96.21	0.95	31.99	0.62
36000	2511628					623.33	2.04	147.54	1.17	48.95	0.77
40000	2970698					768.59	2.26	181.78	1.30	60.25	0.85
48000	3348837					1104.7	2.71	260.94	1.57	86.36	1.02
52000	3627907							305.87	1.70	101.18	1.11
60000	4186047							433.79	2.02	143.33	1.32
68000	4744186							521.25	2.22	172.13	1.45
75000	5232558							633.41	2.45	209.07	1.60

附录C 室内高压蒸汽供暖系统水力计算表

表 C-1 室内高压蒸汽供暖系统管径计算表（压力 p=0.2MPa，粗糙度 Ra=0.2mm）

直径（mm）		DN10		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
8	5000	479	16.0	146	10.1	32	5.5	9	3.4				
10	6000	742	20.0	225	12.6	48	6.9	14	4.3				
13	8000			376	16.4	80	9.0	24	5.6	5	3.2		
16	10000			564	20.2	120	11.1	35	6.9	8	3.9		
20	12000					186	13.9	54	8.6	13	4.9	6	3.7
26	16000					310	18.0	90	11.2	21	6.4	10	4.8
33	20000					496	22.9	144	14.2	34	8.1	17	6.1
46	28000					953	31.9	275	19.8	65	11.3	32	8.6
59	36000							449	25.4	105	14.5	52	11.0
65	40000							543	27.9	127	15.9	62	12.1
90	55000							1033	38.7	240	22.1	118	16.8
123	75000									445	30.1	218	22.9
155	95000									702	38.0	344	28.9
213	130000									1318	52.2	645	39.7
245	15000											851	45.7

直径（mm）		DN50		DN65		ϕ89×4		ϕ108×4		ϕ133×4		ϕ159×4	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
163	100000	100	18.2	27	11	11	7.8	3	5.1	1	3.3		
229	140000	196	25.5	54	15.5	22	10.9	7	7.2	2	4.6	0	3.2
294	180000	321	32.8	88	19.9	35	14	12	9.2	3	5.9	1	4.1
392	240000	566	43.7	155	26.6	62	18.7	21	12.3	5	7.9	2	5.5
458	280000	771	51.1	210	31	85	21.9	28	14.3	9	9.2	3	6.4
589	360000	1271	65.7	346	39.9	139	28.1	46	18.5	14	11.8	5	8.2
654	400000			426	44.3	171	31.2	57	20.5	18	13.1	7	9.1
785	480000			612	53.2	246	37.5	82	24.6	26	15.7	10	10.9
899	550000			801	60.9	321	42.9	107	28.2	33	18	13	12.5
1063	650000			1117	72	448	50.8	149	33.3	47	21.3	18	14.8
1390	850000					763	66.4	254	43.5	79	27.9	31	19.4
1798	1100000							423	56.3	132	36	51	25
2452	1500000							784	76.8	244	49.2	94	34.1
3106	1900000									391	62.3	151	43.2
3597	2200000									523	72.1	202	50.1

表 C-2　　室内高压蒸汽供暖系统管径计算表（压力 p=0.3MPa，粗糙度 Ra=0.2mm）

直径（mm）		DN10		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
10	6000	508	13.7	154	8.6	33	4.7						
13	8000	851	17.8	257	11.2	55	6.0	16	3.5				
17	10000	1443	23.3	435	14.7	93	8.1	27	5.0				
20	12000			599	17.3	127	9.5	37	5.9	9	3.4		
33	20000					339	15.7	98	9.7	23	5.5	11	4.2
53	32000					863	25.1	249	15.6	58	8.8	29	6.8
73	44000					1627	34.6	468	21.5	109	12.2	54	9.3
91	55000							723	26.7	168	15.3	83	11.6
124	75000							1334	36.4	309	20.8	152	15.8
157	95000							2131	46.1	493	26.3	242	20.0
215	130000									919	36.0	450	27.4
282	170000									1574	47.3	770	35.9
364	220000											1277	46.4
431	260000											1787	54.9

直径（mm）		DN50		DN65		ϕ89×4		ϕ108×4		ϕ133×4		ϕ159×4	
G（kg/h）	Q（W）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）
199	120000	102	15.2	28	9.0	11	6.5	3	4.3				
265	160000	179	20.2	49	12.0	20	8.7	6	5.7	2	3.6		
331	200000	277	25.2	76	15.3	30	10.8	10	7.1	3	4.5	1	3.2
464	280000	541	35.4	148	21.5	59	15.1	20	9.8	6	6.4	2	4.4
596	360000	890	45.5	242	28.0	97	19.5	32	12.8	10	8.2	4	5.7
662	400000	1096	50.5	298	30.7	120	22.0	40	14.2	12	9.1	5	6.3
911	550000	2069	69.5	562	42.2	226	29.7	75	19.5	23	12.5	9	8.7
1076	650000			783	49.8	314	35.1	104	23.1	33	14.8	12	10.2
1242	750000			1041	57.5	417	40.6	139	26.6	43	17	17	11.8
1408	850000			1337	65.0	535	46.0	178	30.2	55	19.3	21	13.4
1573	950000			1667	72.9	667	51.4	222	33.7	59	21.6	27	15.0
1822	1100000					894	59.5	297	39	93	25	36	17.3
2484	1500000							550	53.2	171	34.1	66	23.6
3147	1900000							881	67.4	274	43.1	106	30
4306	2600000									512	59	197	41
4968	3000000									680	68.1	262	47.3

表 C-3　　　　室内高压蒸汽供暖系统管径计算表（压力 p=0.4MPa，粗糙度 Ra=0.2mm）

直径（mm）		DN10		DN15		DN20		DN25		DN32		DN40	
G (kg/h)	Q (W)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)
15	9000	861	15.7	260	9.8	55	5.4	16	3.4				
20	12000	1519	20.9	457	13.2	97	7.2	28	4.5				
27	16000			826	17.8	175	9.8	51	6.1	12	3.5		
30	18000			1017	19.8	215	10.9	62	6.7	15	3.8		
41	24000					397	14.8	115	9.2	27	5.2	13	4
54	32000					684	19.6	197	12.1	46	6.9	23	5.3
68	40000					1079	24.6	310	15.3	72	8.7	36	6.6
93	55000					2008	33.7	576	20.9	134	11.9	66	9
127	75000							1068	28.5	247	16.2	121	12.4
160	95000							1689	35.9	391	20.5	191	15.6
186	110000							2278	41.7	526	23.8	258	18.1
220	130000							3181	49.3	734	28.1	359	21.4
253	150000									969	32.4	474	24.6
321	190000									1554	41.1	760	31.2
439	260000											1415	42.7

直径（mm）		DN50		DN65		ϕ89×4		ϕ108×4		ϕ133×4		ϕ159×4	
G (kg/h)	Q (W)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)	R (Pa/m)	v (m/s)
253	150000	124	14.7	34	8.8	14	6.3	4	4.1				
321	190000	199	18.7	54	11.4	22	8	7	5.2	2	3.4		
439	260000	370	25.6	101	15.5	41	10.9	13	7.2	4	4.6	1	3.2
507	300000	493	29.5	134	17.9	54	12.6	18	8.3	5	5.3	2	3.7
777	460000	1151	45.2	313	27.5	126	19.4	42	12.7	13	8.1	5	5.6
844	500000	1357	49.1	369	29.8	148	21	49	13.8	15	8.8	6	6.1
1013	600000	1952	59.0	530	35.8	213	25.2	71	16.6	22	10.6	8	7.4
1182	700000	2654	68.8	720	41.8	289	29.5	96	19.3	30	12.4	11	8.6
1520	900000			1188	53.7	476	37.9	158	24.9	49	15.9	19	11
1689	1000000			1466	59.7	587	42.1	195	27.6	61	17.7	23	12.3
2364	1400000					1146	58.9	381	38.7	118	24.7	46	17.2
3040	1800000					1892	75.8	628	49.7	195	31.8	75	22.1
3377	2000000							774	55.2	241	35.3	93	24.5
4728	2800000							1514	77.3	471	49.5	181	34.4
6079	3600000									776	63.6	299	44.2

附录D　室内高压凝结水管道水力计算表

表 D-1　　由散热器至疏水器间不同管径通过的负荷

管径（mm）	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150
热量（kW）	9.3	30.2	46.5	98.8	128	246	583	860	1340	2190	4950

表 D-2　　开式高压凝水管径计算表（0.2MPa）

R（Pa/m）	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
20	3.76	8.34	15.5	31.8	45.2	98.6	174	287	541	714	1570	3070
40	5.28	11.7	21.9	45.6	65	140	245	405	764	1010	2230	4310
60	6.46	14.4	26.8	55.7	78.7	171	299	496	939	1230	2712	5260
80	7.52	16.7	31	63.6	90.4	197	348	573	1080	1430	3150	6130
100	8.46	18.6	34.8	71.8	101	220	389	637	1200	1590	3470	6820
120	9.16	20.2	37.9	78.5	111	243	425	704	1330	1750	3830	7430
150	10.1	22.8	42.5	88.1	124	271	476	786	1480	1960	4290	8340
200	11.7	26.2	49	101	137	312	552	902	1700	2250	4920	9630
250	13.2	29.3	54.7	106	153	351	617	1010	1910	2540	5530	16800
300	14.4	32.2	59.9	124	169	382	672	1100	2090	2760	6010	11700
350	15.5	34.6	65	134	182	415	729	1200	2280	2980	6530	12700
400	16.6	37.2	69.5	143	195	444	777	1280	2420	3220	7020	13700
450	17.6	39.2	74	153	207	469	824	1360	2570	3410	7400	14500
500	20.2	41.3	77.5	160	218	493	869	1430	2710	3570	7810	15000

注　漏气加二次蒸汽按10%计算，*Ra*=0.5mm。

表 D-3　　开式高压凝水管径计算表（0.3MPa）

R（Pa/m）	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
20	3.05	6.81	12.6	25.8	36.5	81	141	235	440	580	1268	2490
40	4.35	9.51	18.4	37	52.4	114	200	325	622	829	1820	3523
60	5.28	11.6	21.7	45.1	64	140	242	401	763	854	2200	4270
80	6.10	13.4	25	52	73.4	160	284	470	904	1170	2540	4980
100	6.81	15	28	58.7	82.2	180	317	521	987	1310	2830	5500
120	7.52	16.4	30.8	64.6	90.4	196	346	572	1080	1430	3110	6110
150	8.22	18.3	34.5	72	101	218	388	640	1200	1585	3500	6850
200	9.40	21.1	39.9	83.4	117	252	446	740	1370	1820	4020	7830
250	10.6	23.7	44.6	92.8	130	283	505	822	1540	2060	4510	8830
300	11.5	25.9	49	101	142	309	552	904	1689	2230	4930	9680
350	12.4	28.2	52.8	109	153	335	599	975	1836	2410	5320	10500
400	13.4	30.3	56.4	117	164	362	638	1050	1960	2580	5730	11200
450	14.1	32.1	60.5	123	174	384	674	1100	2110	2760	2990	11900
500	14.9	33.7	63.4	129	182	399	711	1160	2230	2900	6400	12400

注　漏气加二次蒸汽按10%计算，*Ra*=0.5mm。

表 D-4　　开式高压凝水管道计算表（0.4MPa）

R（Pa/m）	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
20	2.70	5.87	11.0	22.5	31.9	69.9	124	203	383	506	1113	2170
40	3.76	8.34	15.6	32.3	45.7	98.7	174	287	543	716	1570	3050
60	4.58	10.2	19.0	39.6	55.7	121	211	350	666	870	1910	3720
80	5.40	11.7	22.1	45.1	63.9	140	247	406	766	1012	2220	4350
100	5.99	13.3	24.7	51	71.6	156	277	452	853	1130	2470	4820
120	6.46	14.2	26.9	55.7	78.9	173	303	497	940	1233	2700	5260
150	7.16	16.1	30.1	62.5	88.1	193	337	557	1050	1390	3040	5900
200	8.34	18.6	34.6	72.3	102	221	390	636	1210	1600	3490	6810
250	9.28	20.9	38.8	80.4	114	248	438	716	1350	1800	3910	7630
300	10.2	22.8	42.3	88.0	124	271	476	785	1480	1880	4270	8340
350	11.0	24.4	46.0	94.7	135	295	517	846	1600	2110	4620	8900
400	11.7	26.4	49.2	102	144	314	552	904	1710	2280	4970	9640
450	12.4	27.8	52.3	107	153	334	585	963	1830	2410	5260	10200
500	13.2	29.1	55.6	113	161	349	613	1012	1910	2520	5570	10700

注　漏汽加二次蒸汽按 20%计算，Ra=0.5mm。

表 D-5　　闭式高压凝水管道计算表（0.12MPa）

R（Pa/m）	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
20	4.35	9.63	17.9	37.0	52.3	115	202	332	628	880	1810	3550
40	6.11	13.6	25.5	52.8	74.9	162	285	470	890	1170	2580	5000
60	7.52	16.6	31.1	64.6	91.1	198	348	575	1090	1430	3140	6690
80	8.69	19.1	35.9	74	105	229	404	640	1260	1660	3630	7080
100	9.75	21.6	40.3	83.4	117	256	451	740	1460	1840	4030	7870
120	10.6	23.5	44.0	91	129	281	493	813	1540	2030	4440	8660
150	11.7	26.3	49.3	102	144	315	552	910	1720	2280	4980	9690
200	13.6	30.1	56.7	117	167	362	637	1045	1970	2610	5710	11100
250	15.2	34.1	63.4	132	187	406	716	1174	2220	2940	6420	12500
300	16.7	37.1	69.5	144	204	444	780	1280	2420	3190	7000	13600
350	18.0	40.2	75.2	155	221	482	846	1386	2630	3460	7560	14800
400	19.3	43.1	80.7	167	236	513	904	1480	2810	3720	8120	15900
450	20.4	45.6	85.7	176	250	546	957	1570	2980	3950	8660	16800
500	21.5	47.9	90.0	186	263	573	1010	1660	3140	4130	9070	17600

注　漏汽加二次蒸汽按 10%计算，Ra=0.5mm。

表 D-6　　闭式高压凝水管道计算表（0.3MPa）

R（Pa/m）	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
20	3.64	7.99	15.0	30.5	43.6	95	168	275	521	691	1510	2940
40	5.05	11.3	23.3	43.5	60.7	135	238	390	738	974	2140	4130

续表

R (Pa/m)	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
60	6.22	13.9	26.1	53.3	74.6	164	291	477	904	1160	2810	5070
80	7.16	15.0	30.1	61.0	86.9	189	336	552	1040	1370	3030	6070
100	7.99	17.9	33.7	68.4	97.2	213	176	613	1160	1540	3380	6550
120	8.81	19.5	36.4	75.2	106	233	409	669	1270	1680	3700	7140
150	9.87	21.8	39.9	83.4	119	260	458	752	1410	1880	4130	7970
200	11.4	25.2	47.2	96.5	137	301	528	866	1640	2170	4770	9210
250	12.8	28.4	53	108	153	337	595	975	1840	2430	5270	10300
300	14.0	30.8	57.8	117	169	366	646	1060	2020	2650	5840	11300
350	15.0	33.5	62.5	128	182	397	701	1140	2180	2870	6350	12200
400	16.1	35.6	66.9	136	195	426	752	1230	2330	3080	6790	13300
450	17.0	38.1	71.2	146	207	451	792	1310	2470	3250	7180	13800
500	19.3	40.0	74.9	152	218	474	834	1370	2610	3430	7530	14600

注　漏汽加二次蒸汽按 15%计算，*Ra*=0.5mm。

表 D-7　　**闭式高压凝水管道计算表（0.4MPa）**

R (Pa/m)	在下列管径时通过的热量（kW）											
	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN70	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200
20	3.05	6.81	12.7	26.2	36.9	81	143	235	444	585	1280	2510
40	4.35	9.63	18.1	37.3	52.8	115	202	332	626	834	1830	3520
60	5.28	11.7	22.0	45.6	65	140	245	406	767	1010	2220	4310
80	6.11	13.6	25.4	52.4	73.8	162	287	470	911	1170	2560	5030
100	6.93	15.4	28.4	59.1	83.4	182	321	526	998	1310	2870	5610
120	7.52	16.6	31.2	64.6	91.8	200	350	577	1090	1440	3150	6190
150	8.34	18.8	35	72.6	102	223	392	646	1220	1620	3530	6880
200	9.6	21.5	40.1	83.4	119	257	452	742	1400	1830	4060	7880
250	10.8	24.2	45.1	93.6	133	189	509	834	1570	2090	4560	8910
300	11.7	26.4	49.4	102	146	315	554	908	1710	2280	4970	9720
350	12.7	28.5	53.6	110	157	342	600	986	1870	2470	5380	10500
400	13.6	30.6	57.1	119	168	365	644	1060	2000	2650	5770	11300
450	14.4	32.4	60.8	126	177	386	681	1120	2130	2800	6110	11900
500	15.1	34.1	63.9	132	186	406	716	1170	2250	2940	6460	12500

注　漏汽加二次蒸汽按 20%计算，*Ra*=0.5mm。

附录E 风管单位长度压力损失计算表

表 E-1 圆形风管单位长度压力损失计算表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管直径（mm）												
		100	120	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）												
2.0	2.40	55 0.76	80 0.60	109 0.49	143 0.42	181 0.36	224 0.31	271 0.28	351 0.24	440 0.21	575 0.17	728 0.15	899 0.13	1139 0.11
2.5	3.75	69 1.13	100 0.90	137 0.74	179 0.62	226 0.54	280 0.47	339 0.42	438 0.36	550 0.31	719 0.26	910 0.23	1124 0.20	1424 0.17
3.0	5.40	83 1.58	120 1.25	164 1.03	214 0.87	272 0.75	336 0.66	407 0.58	526 0.50	660 0.43	863 0.37	1092 0.32	1349 0.28	1709 0.24
3.5	7.35	97 2.10	140 1.66	191 1.37	250 1.15	317 0.99	392 0.87	475 0.77	614 0.66	770 0.57	1007 0.49	1274 0.42	1574 0.37	1993 0.32
4.0	9.60	111 2.68	160 2.12	219 1.75	286 1.48	362 1.27	448 1.12	542 0.99	701 0.84	880 0.73	1151 0.62	1456 0.54	1799 0.47	2278 0.41
4.5	12.15	125 3.33	180 2.64	246 2.17	322 1.84	408 1.58	504 1.39	610 1.23	789 1.05	990 0.91	1295 0.77	1638 0.67	2024 0.59	2563 0.51
5.0	15.00	139 4.05	200 3.21	273 2.64	357 2.23	453 1.93	560 1.69	678 1.50	877 1.28	1100 1.11	1439 0.94	1820 0.82	2248 0.72	2848 0.62
5.5	18.15	152 4.84	220 3.84	300 3.16	393 2.67	498 2.30	616 2.02	746 1.79	964 1.53	1210 1.33	1582 1.13	2002 0.98	2473 0.86	3132 0.74
6.0	21.60	166 5.69	240 4.51	328 3.72	429 3.14	544 2.71	672 2.38	814 2.11	1052 1.80	1321 1.56	1726 1.33	2184 1.15	2698 1.01	3417 0.87
6.5	25.35	180 6.61	260 5.25	355 4.32	465 3.65	589 3.15	728 2.76	881 2.15	1139 2.09	1431 1.82	1870 1.54	2366 1.34	2923 1.17	3702 1.02
7.0	29.40	194 7.60	280 6.03	382 4.96	500 4.20	634 3.62	784 3.17	949 2.82	1227 2.41	1541 2.09	2014 1.77	2548 1.54	3148 1.35	3987 1.17
7.5	33.75	208 8.66	300 6.87	410 5.65	536 4.78	679 4.12	840 3.62	1017 3.21	1315 2.74	1651 2.38	2158 2.02	2730 1.75	3373 1.54	4271 1.33
8.0	38.40	222 9.78	320 7.76	437 6.39	572 5.40	725 4.66	896 4.09	1085 3.63	1402 3.10	1761 2.69	2302 2.28	2912 1.98	3597 1.74	4556 1.50
8.5	43.35	236 10.96	340 8.70	464 7.16	608 6.06	770 5.23	952 4.58	1153 4.07	1490 3.47	1871 3.02	2446 2.56	3094 2.22	3822 1.95	4841 1.69
9.0	48.60	249 12.22	360 9.70	492 7.98	643 6.75	815 5.83	1008 5.11	1220 4.54	1578 3.87	1981 3.37	2590 2.86	3276 2.47	4047 2.17	5126 1.88
9.5	54.15	263 13.54	380 10.74	519 8.85	679 7.48	861 6.46	1064 5.66	1288 5.03	1665 4.29	2091 3.73	2733 3.17	3458 2.74	4272 2.41	5410 2.09
10.0	60.00	277 14.93	400 11.85	546 9.75	715 8.25	906 7.12	1120 6.24	1356 5.55	1753 4.73	2201 4.11	2877 3.49	3640 3.02	4497 2.66	5695 2.30
10.5	66.15	291 16.38	420 13.00	574 10.70	751 9.05	951 7.81	1176 6.85	1424 6.09	1841 5.20	2311 4.52	3021 3.83	3822 3.32	4722 2.92	5980 253
11.0	72.60	305 17.90	440 14.21	601 11.70	786 9.89	997 8.54	1232 7.49	1492 6.65	1928 5.68	2421 4.94	3165 4.19	4004 3.63	4946 3.19	6265 2.76

续表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管直径（mm）												
		100	120	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450
		上行：风量（m^3/h）　　下行：比摩阻（Pa/m）												
11.5	79.35	319 19.49	460 15.47	628 12.74	822 10.77	1042 9.30	1288 8.15	1559 7.24	2016 6.18	2531 5.37	3309 4.56	4186 3.95	5171 3.47	6549 3.01
12.0	86.40	333 21.14	480 16.78	656 13.82	858 11.69	1087 10.09	1344 8.85	1627 7.86	2104 6.71	2641 5.83	3453 4.95	4368 4.28	5396 3.77	6834 3.26
12.5	93.75	346 22.86	500 18.14	683 14.94	894 12.64	1132 10.91	1400 9.57	1695 8.50	2191 7.25	2751 6.31	3597 5.35	4550 4.63	5621 4.07	7119 3.53
13.0	101.40	360 24.64	521 19.56	710 16.11	929 13.62	1178 11.76	1456 10.31	1763 9.16	2279 7.82	2861 6.80	3740 5.77	4732 5.00	5846 4.39	7404 3.80
13.5	109.35	374 26.49	541 21.03	737 17.32	965 14.65	1223 12.64	1512 11.09	1831 9.85	2367 8.41	2971 7.31	3884 6.20	4914 5.37	6071 4.72	7688 4.09
14.0	117.60	388 28.41	561 22.55	765 18.57	1001 15.71	1268 13.56	1568 11.89	1898 10.57	2454 9.02	3081 7.84	4028 6.65	5096 5.76	6296 5.06	7973 4.39
14.5	126.15	402 30.39	581 24.13	792 19.87	1036 16.81	1314 14.51	1624 12.72	1966 11.30	2542 9.65	3191 8.39	4172 7.12	5278 6.17	6520 5.42	8258 4.69
15.0	135.00	416 32.44	601 25.75	819 21.21	1072 17.94	1359 15.49	1680 13.58	2034 12.07	2630 10.30	3301 8.96	4316 7.60	5460 6.58	6745 5.79	8543 5.01
15.5	144.15	430 34.56	621 27.43	847 22.59	1108 19.11	1404 16.50	1736 14.47	2102 12.85	2717 10.97	3411 9.54	4460 8.10	5642 7.01	6970 6.16	8827 5.34
16.0	153.60	443 36.74	641 29.17	874 24.02	1144 20.32	1450 17.54	1792 15.38	2170 13.67	2805 11.67	3521 10.14	4604 8.61	5824 7.45	7195 6.55	9112 5.68

风速（m/s）	动压（Pa）	风管直径（mm）												
		500	560	630	700	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
		上行：风量（m^3/h）　　下行：比摩阻（Pa/m）												
2.0	2.40	1405 0.10	1764 0.09	2234 0.08	2759 0.07	3606 0.06	4565 0.05	5638 0.04	7068 0.04	8807 0.03	11046 0.03	14433 0.02	18273 0.02	22565 0.02
2.5	3.75	1757 0.15	2205 0.13	2792 0.11	3449 0.10	4507 0.08	5706 0.07	7047 0.06	8835 0.06	11009 0.05	13807 0.04	18041 0.04	22841 0.03	28207 0.03
3.0	5.40	2108 0.21	2646 0.18	3351 0.16	4139 0.14	5408 0.12	6848 0.10	8457 0.09	10602 0.08	13211 0.07	16568 0.06	21650 0.05	27409 0.04	33848 0.04
3.5	7.35	2459 0.28	3087 0.24	3909 0.21	4828 0.19	6310 0.16	7989 0.14	9866 0.12	12369 0.11	15413 0.09	19330 0.08	25258 0.07	31978 0.06	39489 0.05
4.0	9.60	2810 0.36	3528 0.31	4467 0.27	5518 0.24	7211 0.20	9130 0.18	11276 0.15	14136 0.14	17615 0.12	22091 0.10	28866 0.09	36546 0.08	45130 0.07
4.5	12.15	3162 0.45	3969 0.39	5026 0.34	6208 0.30	8113 0.25	10272 0.22	12685 0.19	15903 0.17	19817 0.15	24853 0.13	32474 0.11	41114 0.10	50772 0.08
5.0	15.00	3513 0.55	4410 0.48	5584 0.41	6898 0.36	9014 0.31	11413 0.27	14095 0.24	17670 0.21	22019 0.18	27614 0.16	36083 0.13	45682 0.12	56413 0.10
5.5	18.15	3864 0.65	4851 0.57	6143 0.49	7587 0.43	9915 0.37	12554 0.32	15504 0.28	19437 0.25	24221 0.22	30375 0.19	39691 0.16	50251 0.14	62054 0.12
6.0	21.60	4216 0.77	5292 0.67	6701 0.58	8277 0.51	10817 0.43	13696 0.38	16914 0.33	21204 0.29	26422 0.25	33137 0.22	43299 0.19	54819 0.16	67696 0.14
6.5	25.35	4567 0.89	5733 0.78	7260 0.67	8967 0.59	11718 0.50	14837 0.44	18323 0.39	22972 0.34	28624 0.30	35898 0.26	46907 0.22	59387 0.19	73337 0.17

续表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管直径（mm）												
		500	560	630	700	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
		上行：风量（m^3/h）　下行：比摩阻（Pa/m）												
7.0	29.40	4918 1.03	6174 0.90	7818 0.78	9657 0.68	12619 0.58	15978 0.50	19733 0.44	24739 0.39	30826 0.34	38660 0.30	50516 0.25	63955 0.22	78978 0.19
7.5	33.75	5270 1.17	6615 1.02	8377 0.88	10346 0.78	13521 0.66	17119 0.57	21142 0.51	26506 0.44	33028 0.39	41421 0.34	54124 0.29	68524 0.25	84620 0.22
8.0	38.40	5621 1.32	7056 1.15	8935 1.00	11036 0.88	14422 0.75	18261 0.65	22552 0.57	28273 0.50	35230 0.44	44182 0.38	57732 0.33	73092 0.28	90261 0.25
8.5	43.35	5972 1.49	7496 1.29	9493 1.12	11726 0.99	15324 0.84	19402 0.73	23961 0.64	30040 0.56	37432 0.49	46944 0.43	61341 0.37	77660 0.32	95902 0.28
9.0	48.60	6324 1.66	7937 1.44	10052 1.25	12416 1.10	16225 0.94	20543 0.81	25371 0.72	31807 0.62	39634 0.55	49705 0.48	64949 0.41	82228 0.35	101543 0.31
9.5	54.15	6675 1.84	8378 1.60	10610 1.39	13105 1.22	17126 1.04	21685 0.90	26780 0.79	33574 0.69	41836 0.61	52465 0.53	68557 0.45	86796 0.39	107185 0.35
10.0	60.00	7026 2.02	8819 1.76	11169 1.53	13795 1.35	18028 1.14	22826 0.99	28190 0.88	35341 0.76	44037 0.67	55228 0.59	72165 0.50	91365 0.43	112826 0.38
10.5	66.15	7378 2.22	9260 1.94	11727 1.68	14485 1.48	18929 1.26	23967 1.09	29599 0.96	37108 0.84	46239 0.74	57989 0.64	75774 0.55	95933 0.48	118467 0.42
11.0	72.60	7729 2.43	9701 2.12	12286 1.83	15175 1.61	19831 1.37	25109 1.19	31009 1.05	38875 0.92	48441 0.80	60751 0.70	79382 0.60	100501 0.52	124109 0.46
11.5	79.35	8080 2.65	10142 2.30	12844 2.00	15864 1.76	20732 1.50	26250 1.30	32418 1.14	40642 1.00	50643 0.88	63512 0.76	82990 0.65	105069 0.57	129750 0.50
12.0	86.40	8431 2.87	10583 2.50	13402 2.17	16554 1.91	21633 1.62	27391 1.41	33827 1.24	42409 1.08	52845 0.95	66273 0.83	86598 0.71	109638 0.61	135391 0.54
12.5	93.75	8783 3.10	11024 2.70	13961 2.34	17244 2.06	22535 1.76	28532 1.52	35237 1.34	44176 1.17	55047 1.03	69035 0.90	90207 0.77	114206 0.67	141033 0.59
13.0	101.40	9134 3.35	11465 2.92	14519 2.53	17934 2.23	23436 1.89	29674 1.64	36646 1.45	45943 1.26	57249 1.11	71796 0.97	93815 0.83	118774 0.72	146674 0.63
13.5	109.35	9485 3.60	11906 3.14	15078 2.72	18623 2.39	24338 2.04	30815 1.77	38056 1.56	47710 1.36	59450 1.19	74558 1.04	97423 0.89	123342 0.77	152315 0.68
14.0	117.60	9837 3.86	12347 3.36	15636 2.92	19313 2.57	25239 2.18	31956 1.90	39465 1.67	49477 1.46	61652 1.28	77319 1.12	101031 0.95	127911 0.83	157957 0.73
14.5	126.15	10188 4.13	12788 3.60	16195 3.12	20003 2.75	26140 2.34	33098 2.03	40875 1.79	51244 1.56	63854 1.37	80080 1.20	104640 1.02	132479 0.89	163598 0.78
15.0	135.00	10539 4.41	13229 3.84	16753 3.33	20693 2.93	27042 2.50	34239 2.17	42284 1.91	53011 1.67	66056 1.46	82842 1.28	108248 1.09	137047 0.95	169239 0.83
15.5	144.15	10891 4.70	13670 4.09	17312 3.55	21382 3.12	27943 2.66	35380 2.31	43694 2.03	54778 1.77	68258 1.56	85603 1.36	111856 1.16	141615 1.01	174880 0.89
16.0	153.60	11242 5.00	14111 4.35	17870 3.77	22072 3.32	28844 2.83	36521 2.45	45103 2.16	56545 1.89	70460 1.65	88365 1.45	115465 1.23	146184 1.07	180522 0.95

注　本表摘自参考文献［6］。

表 E-2　　矩形风管单位长度压力损失计算表

风速 （m/s）	动压 （Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm）　下行：高（mm）																						
		120 120	160 120	200 120	160 160	250 120	200 160	320 120	250 160	200 200	400 120	250 200	320 160	500 120	250 250	400 160	320 200	630 120	500 160	400 200	320 250	800 120	500 200	400 250
		上行：风量（m^3/h）　下行：比摩阻（Pa/m）																						
2.0	2.40	100 0.61	134 0.51	168 0.46	180 0.42	211 0.41	225 0.37	270 0.38	282 0.33	282 0.32	337 0.35	354 0.28	362 0.29	422 0.33	443 0.24	452 0.27	453 0.24	532 0.31	566 0.25	567 0.22	568 0.21	675 0.30	709 0.20	710 0.18
2.5	3.75	125 0.91	168 0.77	210 0.68	225 0.63	263 0.62	282 0.55	338 0.56	353 0.49	353 0.47	422 0.53	442 0.41	452 0.44	528 0.50	554 0.36	565 0.40	567 0.36	666 0.47	707 0.37	708 0.33	710 0.31	843 0.45	886 0.30	887 0.28
3.0	5.40	150 1.27	201 1.07	252 0.95	270 0.88	316 0.86	338 0.77	405 0.79	423 0.68	423 0.66	506 0.74	530 0.58	543 0.61	633 0.69	664 0.50	678 0.56	680 0.51	799 0.66	848 0.52	850 0.46	852 0.43	1012 0.63	1063 0.42	1065 0.39
3.5	7.35	175 1.68	235 1.42	294 1.26	315 1.16	369 1.15	394 1.02	473 1.04	494 0.91	494 0.88	590 0.98	619 0.77	633 0.81	739 0.92	775 0.66	791 0.74	793 0.68	932 0.88	990 0.69	991 0.61	994 0.57	1181 0.84	1241 0.56	1242 0.51
4.0	9.60	201 2.15	268 1.81	336 1.62	359 1.49	421 1.47	450 1.30	540 1.34	564 1.16	565 1.12	675 1.25	707 0.98	724 1.04	844 1.18	886 0.85	904 0.95	907 0.87	1065 1.12	1131 0.89	1133 0.78	1136 0.73	1349 1.08	1418 0.72	1419 0.66
4.5	12.15	226 2.67	302 2.25	378 2.01	404 1.85	474 1.82	507 1.62	608 1.66	635 1.44	635 1.40	759 1.55	795 1.22	814 1.29	950 1.47	996 1.06	1017 1.19	1020 1.08	1198 1.39	1273 1.10	1275 0.98	1278 0.91	1518 1.34	1595 0.90	1597 0.82
5.0	15.00	251 3.25	336 2.74	421 2.45	449 2.25	527 2.22	563 1.97	675 2.02	705 1.75	706 1.70	843 1.89	884 1.49	904 1.57	1056 1.78	1107 1.29	1130 1.44	1133 1.31	1331 1.70	1414 1.34	1416 1.19	1420 1.11	1687 1.63	1772 1.09	1774 0.99
5.5	18.15	276 3.88	369 3.27	463 2.92	494 2.69	579 2.65	619 2.36	743 2.42	776 2.10	776 2.03	928 2.26	972 1.78	995 1.88	1161 2.13	1218 1.54	1243 1.72	1247 1.57	1464 2.03	1555 1.60	1558 1.42	1562 1.33	1855 1.95	1950 1.31	1952 1.19
6.0	21.60	301 4.56	403 3.85	505 3.44	539 3.17	632 3.12	676 2.77	811 2.85	846 2.47	847 2.39	1012 2.66	1061 2.10	1085 2.21	1267 2.51	1328 1.81	1356 2.03	1360 1.85	1597 2.38	1697 1.89	1700 1.67	1703 1.57	2024 2.29	2127 1.54	2129 1.40
6.5	25.35	326 5.30	436 4.47	547 4.00	584 3.68	685 3.62	732 3.22	878 3.31	917 2.87	917 2.78	1097 3.09	1149 2.44	1176 2.57	1372 2.91	1439 2.10	1469 2.36	1473 2.14	1731 2.77	1838 2.19	1841 1.94	1845 1.82	2193 2.66	2304 1.79	2307 1.63
7.0	29.40	351 6.09	470 5.14	589 4.59	629 4.23	737 4.17	788 3.70	946 3.80	987 3.30	988 3.19	1181 3.55	1237 2.80	1266 2.95	1478 3.35	1550 2.42	1582 2.71	1587 2.47	1864 3.19	1980 2.52	1983 2.24	1987 2.09	2361 3.06	2481 2.05	2484 1.87
7.5	33.75	376 6.94	503 5.86	631 5.23	674 4.82	790 4.75	845 4.22	1013 4.33	1058 3.76	1059 3.64	1265 4.05	1326 3.19	1357 3.36	1583 3.82	1661 2.75	1695 3.09	1700 2.81	1997 3.63	2121 2.87	2124 2.55	2129 2.39	2530 3.49	2659 2.34	2662 2.13
8.0	38.40	401 7.84	537 6.62	673 5.91	719 5.44	843 5.36	901 4.77	1081 4.89	1128 4.24	1129 4.11	1350 4.57	1414 3.60	1447 3.80	1689 4.31	1771 3.11	1808 3.49	1813 3.17	2130 4.10	2262 3.25	2266 2.88	2271 2.70	2699 3.94	2836 2.64	2839 2.41
8.5	43.35	426 8.79	571 7.42	715 6.63	764 6.10	895 6.01	957 5.35	1148 5.49	1199 4.76	1200 4.61	1434 5.13	1503 4.04	1537 4.26	1794 4.84	1882 3.49	1921 3.92	1927 3.56	2263 4.60	2404 3.64	2408 3.23	2413 3.02	2867 4.42	3013 2.97	3016 2.70
9.0	48.60	451 9.80	604 8.27	757 7.39	809 6.80	948 6.70	1014 5.96	1216 6.12	1270 5.31	1270 5.14	1518 5.72	1591 4.51	1628 4.75	1900 5.39	1993 3.89	2034 4.37	2040 3.97	2396 5.13	2545 4.06	2549 3.60	2555 3.37	3036 4.93	3190 3.31	3194 3.01

续表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		120 120	160 120	200 120	160 160	250 120	200 160	320 120	250 160	200 200	400 120	250 200	320 160	500 120	250 250	400 160	320 200	630 120	500 160	400 200	320 250	800 120	500 200	400 250
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
9.5	54.15	476 10.86	638 9.17	799 8.19	854 7.54	1001 7.43	1070 6.61	1283 6.78	1340 5.88	1341 5.70	1603 6.33	1679 5.00	1718 5.26	2006 5.98	2103 4.31	2147 4.84	2153 4.40	2529 5.68	2687 4.50	2691 3.99	2697 3.74	3205 5.46	3367 3.67	3371 3.34
10.0	60.00	501 11.97	671 10.11	841 9.03	899 8.31	1054 8.19	1126 7.28	1351 7.47	1411 6.48	1411 6.28	1687 6.98	1768 5.51	1809 5.80	2111 6.59	2214 4.76	2260 5.34	2267 4.85	2662 6.27	2828 4.96	2833 4.40	2839 4.12	3373 602	3545 4.04	3549 3.68
10.5	66.15	526 13.14	705 11.09	883 9.91	944 9.12	1106 8.99	1183 7.99	1418 8.20	1481 7.12	1482 6.89	1771 7.67	1856 6.05	1899 6.37	2217 7.23	2325 5.22	2373 5.86	2380 5.33	2795 6.88	2969 5.45	2974 4.83	2981 4.52	3542 6.61	3722 4.44	3726 4.04
11.0	72.60	551 14.36	738 12.12	925 10.83	989 9.97	1159 9.82	1239 8.74	1486 8.96	1552 7.78	1552 7.54	1856 8.38	1945 6.61	1990 6.96	2322 7.90	2436 5.71	2486 6.40	2493 5.82	2929 7.52	3111 5.95	3116 5.28	3123 4.94	3711 7.23	3899 4.85	3904 4.42
11.5	79.35	576 15.63	772 13.20	967 11.79	1034 10.86	1212 10.69	1295 9.51	1553 9.76	1622 8.47	1623 8.20	1940 9.12	2033 7.19	2080 7.58	2428 8.61	2546 6.21	2599 6.97	2607 6.34	3062 8.18	3252 6.48	3258 5.75	3265 5.38	3879 7.87	4076 5.28	4081 4.81
12.0	86.40	602 16.96	805 14.32	1009 12.79	1078 11.78	1264 11.60	1351 10.32	1621 10.59	1693 9.19	1694 8.90	2024 9.90	2121 7.81	2171 8.22	2533 9.34	2657 6.74	2712 7.56	2720 6.88	3195 8.88	3393 7.03	3399 6.24	3407 5.84	4048 8.54	4254 5.73	4258 5.22
12.5	93.75	627 18.34	839 15.48	1051 13.83	1123 12.74	1317 12.55	1408 11.16	1689 11.45	1763 9.93	1764 9.63	2109 10.70	2210 8.44	2261 8.89	2639 10.10	2768 7.29	2825 8.18	2833 7.44	3328 9.60	3535 7.60	3541 6.74	3549 6.32	4217 9.23	4431 6.19	4436 5.64
13.0	101.40	652 19.77	873 16.69	1093 14.91	1168 13.73	1370 13.53	1464 12.03	1756 12.34	1834 10.71	1835 10.38	2193 11.54	2298 9.10	2351 9.59	2744 10.89	2878 7.86	2938 8.82	2947 8.02	3461 10.35	3676 8.20	3682 7.27	3691 6.81	4385 9.95	4608 6.68	4613 6.09
13.5	109.35	677 21.25	906 17.94	1135 15.03	1213 14.76	1422 14.54	1520 12.93	1824 13.27	1904 11.52	1905 11.16	2277 12.41	2386 9.79	2442 10.31	2850 11.70	2989 8.45	3051 9.48	3060 8.62	3594 11.13	3818 8.82	3824 7.82	3833 7.32	4554 10.70	4785 7.18	4791 6.54
14.0	117.60	702 22.79	940 19.24	1178 17.19	1258 15.83	1475 15.60	1577 13.87	1891 14.23	1975 12.35	1976 11.97	2362 13.30	2475 10.49	2532 11.06	2955 12.55	3100 9.06	3164 10.16	3173 9.24	3727 11.94	3959 9.45	3966 8.38	3975 7.85	4723 11.48	4963 7.70	4968 7.02
14.5	126.15	727 24.38	973 20.59	1220 18.39	1303 16.94	1528 16.69	1633 14.84	1959 15.23	2045 13.21	2046 12.80	2446 14.23	2563 11.23	2623 11.83	3061 13.43	3211 9.70	3277 10.88	3287 9.89	3860 12.77	4100 10.12	4107 8.97	4117 8.40	4891 12.28	5140 8.24	5146 7.51
15.0	135.00	752 26.03	1007 21.98	1262 19.64	1348 18.08	1580 17.81	1689 15.84	2026 16.26	2116 14.10	2117 13.67	2530 15.19	2652 11.99	2713 12.63	3167 14.33	3321 10.35	3390 11.61	3400 10.56	3994 13.64	4242 10.80	4249 9.58	4259 8.97	5060 13.11	5317 8.80	5323 8.02
15.5	144.15	777 27.73	1040 23.41	1304 20.92	1393 19.26	1633 18.98	1746 16.88	2094 17.32	2186 15.03	2188 14.56	2615 16.19	2740 12.77	2804 13.45	3272 15.27	3432 11.03	3503 12.37	3513 11.25	4127 14.53	4383 11.50	4391 10.20	4401 9.56	5229 13.96	5494 9.37	5500 8.54
16.0	153.60	802 29.48	1074 24.89	1346 22.24	1438 20.48	1686 20.17	1802 17.94	2161 18.41	2257 15.97	2258 15.48	2699 17.21	2828 13.58	2894 14.30	3378 16.24	3543 11.72	3616 13.15	3627 11.96	4260 15.44	4525 12.23	4532 10.85	4543 10.16	5397 14.84	5672 9.96	5678 9.08

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		630 160	320 320	1000 120	500 250	630 200	800 160	400 320	630 250	1000 160	800 200	500 320	400 400	1250 160	1000 200	800 250	500 400	630 320	1250 200	1000 250	500 500	630 400	1600 160	800 320
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
2.0	2.40	713 0.23	728 0.17	844 0.29	888 0.17	894 0.19	904 0.22	910 0.15	1120 0.15	1131 0.21	1134 0.18	1139 0.14	1139 0.13	1410 0.21	1418 0.17	1421 0.14	1426 0.12	1437 0.12	1769 0.16	1778 0.13	1784 0.10	1798 0.10	1805 0.20	1823 0.11
2.5	3.75	892 0.35	910 0.26	1055 0.44	1110 0.25	1118 0.28	1130 0.33	1138 0.23	1400 0.23	1414 0.32	1418 0.26	1424 0.21	1424 0.20	1762 0.31	1773 0.25	1776 0.21	1782 0.17	1796 0.19	2211 0.24	2222 0.20	2230 0.15	2248 0.16	2257 0.30	2279 0.17
3.0	5.40	1070 0.49	1092 0.37	1266 0.61	1332 0.35	1341 0.39	1357 0.46	1365 0.32	1680 0.32	1697 0.45	1701 0.37	1709 0.29	1709 0.28	2114 0.43	2128 0.35	2132 0.30	2139 0.24	2155 0.26	2653 0.34	2666 0.28	2676 0.21	2697 0.22	2708 0.42	2735 0.24
3.5	7.35	1248 0.65	1274 0.49	1477 0.81	1554 0.46	1565 0.52	1583 0.62	1593 0.43	1960 0.43	1980 0.59	1985 0.49	1993 0.38	1994 0.37	2467 0.57	2482 0.47	2487 0.39	2495 0.33	2514 0.34	3095 0.45	3111 0.37	3122 0.28	3147 0.29	3159 0.56	3190 0.31
4.0	9.60	1427 0.83	1456 0.62	1688 1.04	1776 0.59	1788 0.67	1809 0.79	1820 0.55	2240 0.54	2262 0.76	2268 0.63	2278 0.49	2279 0.47	2819 0.73	2837 0.60	2842 0.51	2852 0.42	2873 0.44	3537 0.57	3555 0.48	3568 0.36	3596 0.37	3610 0.71	3646 0.40
4.5	12.15	1605 1.03	1638 0.78	1899 1.30	1998 0.74	2012 0.83	2035 0.98	2048 0.68	2520 0.68	2545 0.94	2552 0.78	2563 0.61	2564 0.59	3172 0.91	3192 0.74	3198 0.63	3208 0.52	3232 0.55	3980 0.72	3999 0.59	4014 0.45	4046 0.46	4062 0.89	4102 0.50
5.0	15.00	1783 1.26	1820 0.95	2110 1.58	2220 0.90	2235 1.01	2261 1.20	2276 0.83	2800 0.83	2828 1.15	2835 0.95	2848 0.74	2848 0.72	3524 1.11	3546 0.91	3553 0.77	3564 0.63	3591 0.67	4422 0.87	4444 0.72	4460 0.55	4495 0.56	4513 1.08	4558 0.61
5.5	18.15	1962 1.51	2002 1.13	2321 1.89	2442 1.08	2459 1.21	2487 1.43	2503 0.99	3080 0.99	3111 1.37	3119 1.14	3132 0.89	3133 0.86	3876 1.33	3901 1.08	3908 0.92	3921 0.76	3950 0.80	4864 1.04	4888 0.86	4907 0.65	4945 0.67	4964 1.29	5013 0.73
6.0	21.60	2140 1.77	2184 1.33	2532 2.22	2664 1.27	2682 1.43	2713 1.68	2731 1.17	3360 1.16	3393 1.61	3402 1.34	3417 1.04	3418 1.01	4229 1.57	4255 1.27	4263 1.08	4277 0.89	4310 0.94	5306 1.23	5333 1.02	5353 0.77	5394 0.79	5416 1.52	5469 0.86
6.5	25.35	2318 2.06	2366 1.55	2743 2.58	2887 1.47	2906 1.66	2939 1.96	2958 1.36	3640 1.35	3676 1.88	3686 1.56	3702 1.21	3703 1.18	4581 1.82	4610 1.48	4619 1.25	4634 1.03	4669 1.09	5748 1.42	5777 1.18	5799 0.90	5844 0.92	5867 1.76	5925 1.00
7.0	29.40	2496 2.37	2548 1.78	2954 2.97	3109 1.70	3129 1.91	3165 2.25	3186 1.56	3920 1.55	3959 2.16	3969 1.79	3987 1.40	3988 1.35	4934 2.09	4965 1.70	4974 1.44	4990 1.19	5028 1.26	6191 1.64	6221 1.36	6245 1.03	6293 1.06	6318 2.03	6381 1.15
7.5	33.75	2675 2.70	2730 2.03	3165 3.38	3331 1.93	3353 2.17	3391 2.56	3413 1.78	4200 1.77	4242 2.46	4253 2.04	4271 1.59	4273 1.54	5286 2.38	5319 1.94	5329 1.64	5347 1.36	5387 1.43	6633 1.87	6666 1.55	6691 1.17	6743 1.20	6770 2.31	6837 1.31
8.0	38.40	2853 3.05	2912 2.29	3376 3.82	3553 2.18	3576 2.45	3617 2.89	3641 2.01	4480 2.00	4525 2.78	4536 2.30	4556 1.80	4557 1.74	5638 2.69	5674 2.19	5685 1.86	5703 1.53	5746 1.62	7075 2.11	7110 1.75	7137 1.33	7192 1.36	7221 2.61	7292 1.48
8.5	43.35	3031 3.42	3094 2.57	3587 4.28	3775 2.45	3800 2.75	3844 3.25	3868 2.26	4760 2.24	4807 3.12	4820 2.59	4841 2.02	4842 1.96	5991 3.02	6028 2.46	6040 2.08	6060 1.72	6105 1.82	7517 2.37	7555 1.96	7583 1.49	7642 1.53	7672 2.93	7748 1.66
9.0	48.60	3210 3.81	3276 2.87	3797 4.77	3997 2.73	4023 3.07	4070 3.62	4096 2.52	5040 2.50	5090 3.47	5103 2.88	5126 2.25	5127 2.18	6343 3.37	6383 2.74	6395 2.32	6416 1.92	6464 2.03	7959 2.64	7999 2.19	8029 1.66	8092 1.70	8124 3.27	8204 1.85

续表

风速 (m/s)	动压 (Pa)	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		630 160	320 320	1000 120	500 250	630 200	800 160	400 320	630 250	1000 160	800 200	500 320	400 400	1250 160	1000 200	800 250	500 400	630 320	1250 200	1000 250	500 500	630 400	1600 160	800 320
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
9.5	54.15	3388 4.23	3458 3.18	4008 5.29	4219 3.03	4247 3.40	4296 4.01	4324 2.79	5320 2.77	5373 3.85	5387 3.20	5410 2.49	5412 2.42	6696 3.73	6738 3.04	6750 2.57	6772 2.12	6823 2.25	8402 2.93	8443 2.43	8475 1.84	8541 1.89	8575 3.62	8660 2.06
10.0	60.00	3566 4.66	3640 3.50	4219 5.83	4441 3.34	4470 3.75	4522 4.42	4551 3.08	5600 3.06	5656 4.24	5670 3.52	5695 2.75	5697 2.66	7048 4.12	7092 3.35	7106 2.84	7129 2.34	7183 2.48	8844 3.23	8888 2.67	8921 2.03	8991 2.08	9026 3.99	9115 2.27
10.5	66.15	3745 5.11	3822 3.85	4430 6.40	4663 3.66	4694 4.12	4748 4.86	4779 3.38	5881 3.36	5939 4.66	5954 3.87	5980 3.02	5982 2.93	7400 4.52	7447 3.68	7461 3.12	7485 2.57	7542 2.72	9286 3.54	9332 2.94	9367 2.23	9440 2.29	9478 4.38	9571 2.49
11.0	72.60	3923 5.59	4005 4.20	4641 7.00	4885 4.00	4917 4.50	4974 5.31	5006 3.70	6161 3.67	6221 5.09	6237 4.23	6265 3.30	6266 3.20	7753 4.94	7801 4.02	7816 3.41	7842 2.81	7901 2.98	9728 3.87	9776 3.21	9813 2.43	9890 2.50	9929 4.79	10027 2.72
11.5	79.35	4101 6.09	4187 4.58	4852 7.62	5107 4.36	5141 4.90	5200 5.78	5234 4.02	6441 4.00	6504 5.54	6521 4.60	6550 3.59	6551 3.48	8105 5.38	8156 4.38	8172 3.71	8198 3.06	8260 3.24	10170 4.21	10221 3.49	10259 2.65	10339 2.72	10380 5.22	10483 2.96
12.0	86.40	4280 6.60	4369 4.97	5063 8.26	5329 4.73	5365 5.32	5426 6.27	5461 4.37	6721 4.34	6787 6.02	6804 4.99	6834 3.89	6836 3.78	8458 5.83	8511 4.75	8527 4.02	8555 3.32	8619 3.52	10612 4.57	10665 3.79	10705 2.88	10789 2.95	10831 5.66	10939 3.21
12.5	93.75	4458 7.14	4551 5.37	5274 8.94	5551 5.12	5588 5.75	5652 6.78	5689 4.72	7001 4.69	7070 6.51	7088 5.40	7119 4.21	7121 4.09	8810 6.31	8865 5.14	8882 4.35	8911 3.59	8978 3.80	11055 4.94	11110 4.10	11151 3.11	11238 3.19	11283 6.12	11394 3.48
13.0	101.40	4636 7.70	4733 5.79	5485 9.64	5773 5.52	5812 6.20	5878 7.31	5916 5.09	7281 5.06	7353 7.01	7371 5.82	7404 4.54	7406 4.41	9162 6.80	9220 5.54	9237 4.69	9268 3.87	9337 4.10	11497 5.33	11554 4.42	11597 3.35	11688 3.44	11734 6.60	11850 3.75
13.5	109.35	4815 8.28	4915 6.23	5696 10.36	5995 5.93	6035 6.67	6104 7.86	6144 5.47	7561 5.44	7635 7.54	7655 6.26	7689 4.88	7691 4.74	9515 7.32	9575 5.96	9593 5.05	9624 4.16	9696 4.41	11939 5.73	11998 4.75	12043 3.61	12137 3.30	12185 7.10	12306 4.03
14.0	117.60	4993 8.88	5097 6.68	5907 11.11	6217 6.36	6259 7.15	6331 8.43	6372 5.87	7841 5.85	7918 8.09	7938 6.72	7973 5.24	7976 5.08	9867 7.85	9929 6.39	9948 5.41	9980 4.47	10056 4.73	12381 6.15	12443 5.10	12489 3.87	12587 3.97	12637 7.61	12762 4.32
14.5	126.15	5171 9.50	5279 7.15	6118 11.89	6439 6.81	6482 7.65	6557 9.02	6599 6.28	8121 6.24	8201 8.65	8222 7.18	8258 5.60	8260 5.44	10220 8.39	10284 6.84	10303 5.79	10337 4.78	10415 5.06	12823 6.58	12887 5.46	12935 4.14	13036 4.25	13088 8.14	13217 4.63
15.0	135.00	5350 10.14	5461 7.63	6329 12.69	6661 7.27	6706 8.17	6783 9.63	6827 6.71	8401 6.66	8484 9.24	8505 7.67	8543 5.98	8545 5.80	10572 8.96	10638 7.30	10659 6.18	10693 5.10	10774 5.40	13266 7.02	13332 5.82	13381 4.42	13486 4.54	13539 8.69	13673 4.94
15.5	144.15	5528 10.80	5643 8.13	6540 13.52	6883 7.74	6929 8.70	7009 10.26	7054 7.14	8681 7.10	8767 9.84	8789 8.17	8828 6.37	8830 6.18	10924 9.55	10993 7.77	11014 6.58	11050 5.43	11133 5.75	13708 7.48	13776 6.20	13828 4.71	13935 4.83	13991 9.26	14129 5.26
16.0	153.60	5706 11.48	5825 8.64	6751 14.37	7105 8.23	7153 9.25	7235 10.91	7282 7.60	8961 7.54	9049 10.46	9072 8.69	9112 6.78	9115 6.57	11277 10.15	11348 8.27	11369 7.00	11406 5.78	11492 6.12	14150 7.95	14220 6.60	14274 5.00	14385 5.14	14442 9.84	14585 5.59

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		1250 250	630 500	1600 200	1000 320	800 400	2000 200	630 630	1600 250	1250 320	1000 400	800 500	2000 250	1250 400	1000 500	800 630	1600 320	2500 250	1250 500	1000 630	2000 320	1600 400	800 800	1250 630
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
2.0	2.40	2218 0.13	2250 0.09	2265 0.15	2280 0.10	2282 0.09	2833 0.15	2838 0.08	2840 0.12	2846 0.10	2855 0.09	2857 0.08	3551 0.12	3564 0.08	3573 0.07	3603 0.07	3645 0.09	4433 0.11	4462 0.06	4507 0.06	4558 0.05	4565 0.07	4579 0.06	5629 0.05
2.5	3.75	2772 0.19	2813 0.13	2831 0.23	2850 0.16	2853 0.14	3541 0.23	3547 0.11	3550 0.18	3558 0.15	3569 0.13	3571 0.12	4439 0.18	4456 0.12	4466 0.11	4504 0.10	4556 0.14	5541 0.17	5578 0.10	5633 0.09	5697 0.13	5706 0.11	5724 0.09	7037 0.08
3.0	5.40	3326 0.27	3375 0.19	3398 0.33	3420 0.22	3424 0.20	4249 0.32	4257 0.16	4260 0.25	4269 0.21	4282 0.18	4285 0.16	5327 0.25	5347 0.17	5360 0.15	5405 0.14	5467 0.20	6649 0.24	6693 0.14	6760 0.12	6837 0.19	6847 0.16	6869 0.12	8444 0.11
3.5	7.35	3881 0.35	3938 0.25	3964 0.43	3990 0.29	3994 0.26	4957 0.42	4966 0.21	4970 0.34	4981 0.28	4996 0.24	4999 0.22	6215 0.33	6238 0.22	6253 0.20	6305 0.18	6379 0.26	7757 0.32	7809 0.18	7887 0.17	7976 0.25	7989 0.21	8014 0.16	9852 0.15
4.0	9.60	4435 0.45	4500 0.32	4530 0.55	4561 0.38	4565 0.33	5665 0.54	5676 0.27	5680 0.43	5692 0.35	5710 0.31	5713 0.28	7103 0.42	7129 0.29	7146 0.25	7206 0.24	7290 0.33	8866 0.41	8925 0.23	9013 0.21	9116 0.32	9130 0.27	9158 0.20	11259 0.19
4.5	12.15	4990 0.57	5063 0.39	5097 0.69	5131 0.47	5136 0.42	6373 0.67	6385 0.34	6390 0.54	6404 0.44	6423 0.38	6427 0.35	7991 0.52	8020 0.36	8039 0.32	8107 0.30	8201 0.42	9974 0.51	10040 0.29	10140 0.26	10255 0.40	10271 0.33	10303 0.25	12666 0.24
5.0	15.00	5544 0.69	5625 0.48	5663 0.84	5701 0.57	5706 0.51	7081 0.82	7094 0.41	7100 0.66	7115 0.54	7137 0.47	7142 0.42	8879 0.64	8911 0.43	8933 0.39	9008 0.36	9112 0.51	11082 0.62	11156 0.35	11267 0.32	11395 0.49	11412 0.41	11448 0.31	14074 0.29
5.5	18.15	6099 0.82	6188 0.57	6229 1.00	6271 0.68	6277 0.60	7789 0.98	7804 0.49	7810 0.79	7827 0.64	7851 0.56	7856 0.51	9767 0.76	9802 0.52	9826 0.46	9909 0.43	10024 0.61	12190 0.74	12271 0.42	12393 0.38	12534 0.58	12553 0.49	12593 0.37	15481 0.35
6.0	21.60	6653 0.97	6750 0.67	6796 1.18	6841 0.80	6847 0.71	8498 1.15	8513 0.58	8520 0.93	8538 0.76	8565 0.66	8570 0.60	10654 0.90	10693 0.61	10719 0.54	10809 0.51	10935 0.71	13298 0.87	13387 0.50	13520 0.45	13674 0.69	13695 0.57	13738 0.43	16888 0.41
6.5	25.35	7207 1.13	7313 0.78	7362 1.37	7411 0.93	7418 0.83	9206 1.34	9223 0.68	9230 1.08	9250 0.88	9278 0.76	9284 0.70	11542 1.04	11584 0.71	11612 0.63	11710 0.59	11846 0.83	14406 1.02	14502 0.58	14647 0.53	14813 0.80	14836 0.66	14883 0.51	18296 0.48
7.0	29.40	7762 1.30	7875 0.90	7928 1.58	7981 1.07	7989 0.95	9914 1.54	9932 0.78	9940 1.24	9962 1.01	9992 0.88	9998 0.80	12430 1.20	12475 0.82	12506 0.73	12611 0.68	12757 0.96	15515 1.17	15618 0.67	15773 0.61	15953 0.92	15977 0.76	16027 0.58	19703 0.55
7.5	33.75	8316 1.48	8438 1.03	8494 1.80	8551 1.22	8559 1.09	10622 1.75	10642 0.89	10650 1.41	10673 1.15	10706 1.00	10712 0.91	13318 1.37	13367 0.93	13399 0.83	13512 0.77	13669 1.09	16623 1.33	16733 0.76	16900 0.69	17092 1.05	17118 0.87	17172 0.66	21110 0.63
8.0	38.40	8871 1.67	9001 1.16	9061 2.03	9121 1.38	9130 1.23	11330 1.98	11351 1.00	11360 1.59	11385 1.30	11419 1.13	11427 1.03	14206 1.54	14258 1.05	14292 0.94	14412 0.87	14580 1.23	17731 1.50	17849 0.86	18027 0.78	18232 1.18	18259 0.99	18317 0.75	22518 0.71
8.5	43.35	9425 1.87	9563 1.30	9627 2.28	9691 1.55	9700 1.38	12038 2.22	12060 1.12	12070 1.79	12096 1.46	12133 1.27	12141 1.16	15094 1.73	15149 1.18	15185 1.05	15313 0.98	15491 1.38	18839 1.69	18965 0.97	19153 0.88	19371 1.33	19401 1.11	19462 0.84	23925 0.80
9.0	48.60	9979 2.09	10126 1.45	10193 2.54	10261 1.73	10271 1.54	12746 2.47	12770 1.25	12780 1.99	12808 1.63	12847 1.41	12855 1.29	15982 1.93	16040 1.32	16079 1.17	16214 1.09	16402 1.54	19947 1.88	20080 1.08	20280 0.98	20511 1.48	20542 1.23	20607 0.94	25333 0.89

续表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		1250 250	630 500	1600 200	1000 320	800 400	2000 200	630 630	1600 250	1250 320	1000 400	800 500	2000 250	1250 400	1000 500	800 630	1600 320	2500 250	1250 500	1000 630	2000 320	1600 400	800 800	1250 630
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
9.5	54.15	10534 2.31	10688 1.61	10760 2.82	10831 1.91	10842 1.70	13455 2.74	13479 1.39	13490 2.21	13519 1.80	13561 1.57	13569 1.43	16869 2.14	16931 1.46	16972 1.30	17115 1.21	17314 1.71	21056 2.09	21196 1.19	21407 1.08	21650 1.64	21683 1.37	21751 1.04	26740 0.98
10.0	60.00	11088 2.55	11251 1.78	11326 3.11	11401 2.11	11412 1.88	14163 3.02	14189 1.53	14201 2.44	14231 1.99	14274 1.73	14283 1.58	17757 2.36	17822 1.61	17865 1.43	18016 1.34	18225 1.88	22164 2.30	22311 1.32	22534 1.20	22790 1.81	22824 1.51	22896 1.15	28147 1.09
10.5	66.15	11643 2.80	11813 1.95	11892 3.41	11971 2.32	11983 2.06	14871 3.32	14898 1.68	14911 2.68	14942 2.19	14988 1.89	14997 1.73	18645 2.59	18713 1.77	18758 1.57	18916 1.47	19136 2.07	23272 2.52	23427 1.45	23660 1.31	23929 1.98	23966 1.65	24041 1.26	29555 1.19
11.0	72.60	12197 3.06	12376 2.13	12459 3.73	12542 2.53	12553 2.25	15579 3.63	15608 1.84	15621 2.93	15654 2.39	15702 2.07	15712 1.89	15933 2.83	19604 1.93	19652 1.72	19817 1.60	20047 2.26	24380 2.76	24542 1.58	24787 1.43	25069 2.17	25107 1.81	25188 1.38	30962 1.30
11.5	79.35	12752 3.33	12938 2.32	13025 4.06	13112 2.76	13124 2.45	16287 3.95	16317 2.00	16331 3.19	16365 2.60	16415 2.26	16426 2.06	20421 3.08	20495 2.10	20545 1.87	20718 1.75	20959 2.46	25488 3.01	25658 1.72	25914 1.56	26208 2.36	26248 1.97	26331 1.50	32369 1.42
12.0	86.40	13306 3.62	13501 2.52	13591 4.41	13682 2.99	13695 2.66	16995 4.29	17027 2.17	17041 3.46	17077 2.82	17129 2.45	17140 2.24	21309 3.34	21387 2.28	21438 2.03	21619 1.90	21870 2.67	26597 3.26	26774 1.87	27040 1.70	27348 2.56	27389 2.14	27475 1.63	33777 1.54
12.5	93.75	13860 3.91	14063 2.72	14157 4.76	14252 3.24	14265 2.88	17703 4.64	17736 2.35	17751 3.74	17788 3.05	17843 2.65	17854 2.42	22197 3.62	22278 2.47	22332 2.19	22519 2.05	22781 2.89	22705 3.53	27889 2.02	28167 1.83	28487 2.77	28530 2.31	28620 1.76	35184 1.67
13.0	101.40	14415 4.22	14626 2.94	14724 5.14	14822 3.49	14836 3.10	18412 5.00	18445 2.53	18461 4.03	18500 3.29	18556 2.85	18568 2.61	23085 3.90	23169 2.66	23225 2.37	23420 2.21	23692 3.11	28813 3.80	29005 2.18	29294 1.98	29627 2.99	29672 2.49	29765 1.90	36591 1.80
13.5	109.35	14969 4.53	15188 3.16	15290 5.52	15392 3.75	15407 3.34	19120 5.38	19155 2.72	19171 4.33	19212 3.54	19270 3.07	19282 2.80	23972 4.19	24060 2.86	24118 2.54	24321 2.38	24604 3.35	29921 4.09	30120 2.34	30420 2.13	30766 3.22	30813 2.68	30910 2.04	37999 1.93
14.0	117.60	15524 4.86	15751 3.39	15856 5.92	15962 4.02	15977 3.58	19828 5.77	19864 2.92	19881 4.65	19923 3.80	19984 3.29	19997 3.01	24860 4.50	24951 3.07	25011 2.73	25222 2.55	25515 3.59	31029 4.39	31236 2.51	31547 2.28	31906 4.45	31954 2.87	32055 2.19	39406 2.07
14.5	126.15	16078 5.20	16313 3.62	16423 6.34	16532 4.31	16548 3.83	20536 6.17	20574 3.12	20591 4.97	20635 4.06	20698 3.52	20711 3.22	25748 4.81	25842 3.28	25905 2.92	26123 2.73	25426 3.84	32138 4.69	32351 3.69	32674 2.44	33045 3.59	33095 3.08	33200 2.34	40814 2.22
15.0	135.00	16632 5.55	16876 3.87	16989 6.77	17102 4.60	17118 4.09	21244 6.59	21283 3.34	21301 5.31	21346 4.34	21411 3.76	21425 3.43	26636 5.14	26733 3.51	26798 3.12	27023 2.91	27337 4.10	33246 5.01	33467 2.87	33800 2.61	34185 3.94	34236 3.28	34344 2.50	42221 2.37
15.5	144.15	17187 5.92	17439 4.12	17555 7.21	17672 4.90	17689 4.36	21952 7.02	21993 3.55	22011 5.66	22058 4.62	22125 4.01	22139 3.66	27524 5.47	27624 3.74	27691 3.32	27924 3.10	28249 4.37	34354 5.34	34593 3.06	34927 2.78	35324 4.20	35378 3.50	35489 2.66	43628 2.52
16.0	153.60	17741 6.29	18001 4.38	18121 7.66	18242 5.21	18260 4.63	22660 7.46	22702 3.78	22721 6.02	22769 4.91	22839 4.26	22853 3.89	28412 5.82	28515 3.97	28584 3.53	28825 3.30	29160 4.65	35462 5.67	35698 3.25	36054 2.95	36464 4.46	36519 3.72	36634 2.83	45036 2.68

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		2500 320	2000 400	1600 500	1000 800	3000 320	2500 400	2000 500	1250 800	1000 1000	1600 630	3000 400	2500 500	1250 1000	2000 630	1600 800	3500 400	3000 500	1250 1250	2500 630	4000 400	2000 800	1600 1000	3500 500
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
2.0	2.40	5691 0.09	5708 0.07	5715 0.06	5728 0.06	6831 0.08	7129 0.07	7146 0.06	7156 0.04	7164 0.04	7209 0.05	8557 0.07	8927 0.05	8951 0.04	9015 0.05	9164 0.04	9985 0.06	10714 0.05	11196 0.03	11263 0.04	11412 0.06	11460 0.04	11464 0.03	12502 0.05
2.5	3.75	7114 0.13	7135 0.11	7143 0.09	7160 0.07	8539 0.13	8911 0.10	8933 0.09	8945 0.07	8955 0.06	9012 0.07	10696 0.10	11158 0.08	11189 0.06	11269 0.07	11455 0.06	12481 0.10	13393 0.08	13995 0.05	14079 0.05	14265 0.10	14324 0.06	14330 0.05	15628 0.08
3.0	5.40	8537 0.18	8562 0.15	8572 0.13	8591 0.10	10246 0.18	10694 0.14	10719 0.12	10734 0.09	10746 0.09	10814 0.10	12835 0.14	13390 0.11	13427 0.08	13523 0.10	13746 0.08	14977 0.14	16072 0.11	16794 0.07	16895 0.09	17119 0.13	17189 0.08	17196 0.07	18753 0.11
3.5	7.35	9959 0.24	9989 0.20	10001 0.17	10023 0.14	11954 0.24	12476 0.19	12506 0.16	12523 0.12	12537 0.12	12617 0.14	14974 0.19	15622 0.15	15665 0.11	15777 0.13	16037 0.11	17473 0.18	18750 0.15	19593 0.09	19711 0.12	19972 0.18	20054 0.10	20062 0.09	21879 0.14
4.0	9.60	11382 0.31	11416 0.25	11429 0.22	11455 0.18	13662 0.30	14258 0.24	14292 0.20	14312 0.16	14328 0.16	14419 0.18	17114 0.24	17853 0.19	17903 0.14	18031 0.16	18328 0.14	19969 0.23	21429 0.19	22392 0.12	22527 0.15	22825 0.23	22919 0.13	22928 0.12	25004 0.18
4.5	12.15	12805 0.39	12844 0.32	12858 0.27	12887 0.22	15369 0.38	16040 0.30	16079 0.25	16101 0.20	16119 0.19	16221 0.22	19253 0.30	20085 0.24	20141 0.17	20284 0.20	20520 0.18	22465 0.29	24107 0.23	25191 0.15	25343 0.19	25678 0.29	25784 0.16	25794 0.15	28130 0.23
5.0	15.00	14228 0.47	14271 0.39	14287 0.33	14319 0.27	17077 0.46	17823 0.37	17865 0.31	17889 0.24	17910 0.24	18024 0.27	21392 0.36	22317 0.29	22379 0.21	22538 0.25	22911 0.22	24962 0.35	25786 0.28	27990 0.18	28159 0.23	28531 0.35	28649 0.20	28660 0.18	31255 0.28
5.5	18.15	15650 0.56	15698 0.46	15715 0.39	15751 0.32	18785 0.55	19605 0.44	19652 0.37	19678 0.29	19701 0.28	19826 0.32	23531 0.43	24548 0.35	24617 0.25	24792 0.30	25202 0.26	27458 0.42	29465 0.34	30780 0.22	30975 0.28	31384 0.42	31514 0.24	31526 0.22	34381 0.33
6.0	21.60	17073 0.66	17125 0.54	17144 0.46	17183 0.38	20492 0.65	21387 0.52	21438 0.44	21467 0.34	21492 0.33	21628 0.38	25671 0.51	26780 0.42	26854 0.29	27046 0.35	27493 0.31	29954 0.50	32143 0.40	33588 0.25	33790 0.33	34237 0.49	34379 0.28	34392 0.26	37506 0.39
6.5	25.35	18496 0.77	18552 0.63	18573 0.54	18615 0.45	22200 0.75	23170 0.61	23225 0.51	23256 0.40	23283 0.39	23431 0.44	27810 0.59	29012 0.48	29092 0.34	29300 0.41	29784 0.36	32450 0.58	34822 0.47	36387 0.30	36606 0.38	37090 0.57	37244 0.33	37258 0.30	40632 0.46
7.0	29.40	19919 0.89	19979 0.73	20001 0.62	20047 0.51	23908 0.87	24952 0.70	25011 0.58	25045 0.46	25074 0.44	25233 0.50	29949 0.68	31243 0.56	31330 0.39	31553 0.47	32075 0.41	34946 0.67	37500 0.54	39186 0.34	39422 0.44	39943 0.66	40109 0.38	40124 0.35	43758 0.52
7.5	33.75	21341 1.01	21406 0.83	21430 0.70	21479 0.58	25616 0.99	26734 0.80	26798 0.66	26834 0.52	26865 0.51	27036 0.57	32088 0.78	33475 0.63	33568 0.45	33807 0.53	34366 0.47	37442 0.76	40179 0.61	41985 0.39	42238 0.50	42796 0.75	42973 0.43	42990 0.39	46883 0.60
8.0	38.40	22764 1.14	22833 0.94	22859 0.80	22911 0.66	27323 1.12	28516 0.90	28584 0.75	28623 0.59	28656 0.57	28838 0.65	34227 0.88	35707 0.72	35806 0.50	36061 0.50	36557 0.53	39938 0.86	42858 0.69	44784 0.44	45054 0.57	45649 0.85	45838 0.49	45856 0.45	50009 0.68
8.5	43.35	24187 1.28	24260 1.05	24287 0.89	24342 0.74	29031 1.26	30299 1.01	30371 0.84	30412 0.66	30447 0.64	30640 0.73	36367 0.98	37938 0.80	38044 0.57	38315 0.68	38948 0.59	42435 0.96	45536 0.78	47583 0.49	47870 0.64	48503 0.95	48703 0.55	48722 0.50	53134 0.76
9.0	48.60	25610 1.43	25687 1.17	25716 1.00	25774 0.83	30739 1.40	32081 1.13	32157 0.94	32201 0.74	32238 0.72	32443 0.81	38506 1.10	40170 0.90	40282 0.63	40569 0.76	41239 0.66	44931 1.07	48215 0.87	50382 0.55	50686 0.71	51356 1.06	51568 0.61	51588 0.56	56260 0.84

续表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		2500 320	2000 400	1600 500	1000 800	3000 320	2500 400	2000 500	1250 800	1000 1000	1600 630	3000 400	2500 500	1250 1000	2000 630	1600 800	3500 400	3000 500	1250 1250	2500 630	4000 400	2000 800	1600 1000	3500 500
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
9.5	54.15	27032 1.59	27114 1.30	27145 1.11	27206 0.92	32446 1.55	33863 1.25	33944 1.04	33990 0.82	34029 0.79	34245 0.90	40645 1.22	42402 0.99	42519 0.70	42822 0.84	43530 0.74	47427 1.19	50893 0.96	53181 0.61	53501 0.79	54209 1.17	54433 0.68	54454 0.62	59385 0.94
10.0	60.00	28455 1.75	28541 1.43	28574 1.22	28638 1.01	34154 1.71	35645 1.38	35730 1.15	35779 0.90	35820 0.88	36047 0.99	42784 1.34	44633 1.10	44757 0.77	45076 0.92	45821 0.81	49923 1.31	53572 1.06	55980 0.67	56317 0.87	57062 1.29	57298 0.75	57320 0.68	62511 1.03
10.5	66.15	29878 1.92	29968 1.57	30002 1.34	30070 1.11	35862 1.88	37428 1.51	37517 1.26	37568 0.99	37611 0.96	37850 1.09	44923 1.47	46865 1.20	46995 0.85	47330 1.01	48112 0.89	52419 1.44	56251 1.16	58779 0.74	59133 0.96	59915 1.42	60163 0.82	60186 0.75	65636 1.13
11.0	72.60	31301 2.10	31395 1.72	31431 1.46	31502 1.21	37569 2.05	39210 1.65	39303 1.38	39357 1.08	39402 1.05	39652 1.19	47063 1.61	49097 1.31	49233 0.93	49584 1.11	50403 0.97	54915 1.58	58929 1.27	61578 0.80	61949 1.05	52768 1.55	63028 0.90	63051 0.82	68762 1.24
11.5	79.35	32724 2.29	32822 1.87	32860 1.59	32934 1.32	39277 2.24	40992 1.80	41090 1.50	41146 1.18	41193 1.15	41455 1.29	49202 1.75	51328 1.43	51471 1.01	51838 1.21	52594 1.06	57412 1.72	61608 1.38	64377 0.88	64765 1.14	65621 1.69	65893 0.98	65917 0.89	71887 1.35
12.0	86.40	34146 2.48	34249 2.03	34288 1.73	34366 1.43	40985 2.43	42775 1.96	42876 1.63	42935 1.28	42984 1.24	43257 1.41	51341 1.90	53560 1.55	53709 1.10	54092 1.31	54985 1.15	59908 1.86	64286 1.50	67176 0.95	67581 1.24	58474 1.83	68758 1.06	68783 0.97	75013 1.47
12.5	93.75	35569 2.68	35676 2.20	35717 1.87	35798 1.55	42693 2.62	44557 2.11	44663 1.76	44724 1.39	44775 1.34	45059 1.52	53480 2.06	55792 1.68	55947 1.18	56345 1.42	57276 1.24	62404 2.02	66965 1.62	69975 1.03	70397 1.34	71327 1.98	71622 1.15	71649 1.05	78139 1.58
13.0	101.40	36992 2.89	37103 2.37	37146 2.02	37230 1.67	44400 2.83	46339 2.28	46449 1.90	46513 1.49	46566 1.45	46862 1.64	55620 2.22	58023 1.81	58185 1.28	58599 1.53	59567 1.34	64900 2.17	59644 1.75	72774 1.11	73213 1.44	74180 2.14	74487 1.24	74515 1.13	81264 1.71
13.5	109.35	38415 3.11	38531 2.55	38574 2.17	38662 1.80	46108 3.04	48121 2.45	48236 2.04	48302 1.61	48357 1.56	48664 1.76	57759 2.38	60255 1.95	60422 1.37	60853 1.64	61859 1.44	67396 2.34	72322 1.88	75573 1.19	76028 1.55	77034 2.30	77352 1.33	77381 1.22	84390 1.84
14.0	117.60	39837 3.34	39958 2.74	40003 2.33	40094 1.93	47816 3.26	49904 2.63	50022 2.19	50091 1.72	50148 1.67	50466 1.89	59898 2.56	62487 2.09	62560 1.47	63107 1.76	64150 1.55	69892 2.51	75001 2.02	78372 1.28	78844 1.66	79887 2.47	80217 1.43	80247 1.30	87515 1.97
14.5	126.15	41260 3.57	41385 2.93	41432 2.49	41525 2.06	49523 3.49	51686 2.81	51809 2.35	51879 1.84	51939 1.79	52269 2.02	62037 2.74	64718 2.24	64898 1.58	65361 1.89	66441 1.66	72388 2.68	77679 2.16	81171 1.37	81660 1.78	82740 2.64	83082 1.53	83113 1.40	90641 2.11
15.0	135.00	42683 3.81	42812 3.13	42860 2.66	42957 2.20	51231 3.73	53468 3.00	53595 2.50	53668 1.97	53780 1.91	54071 2.16	64176 2.92	66950 2.39	67136 1.68	67614 2.01	68732 1.77	74885 2.86	80358 2.31	83971 1.46	84476 1.90	85593 2.82	85947 1.63	85979 1.49	93766 2.25
15.5	144.15	44106 4.06	44239 3.33	44289 2.83	44389 2.34	52939 3.97	55250 3.20	55382 2.67	55457 2.10	55521 2.03	55874 2.30	66316 3.11	69181 2.54	69374 1.79	69868 2.15	71023 1.88	77381 3.05	83037 2.46	86770 1.56	87292 2.02	88446 3.00	88812 1.74	88845 1.59	95892 2.40
16.0	153.60	45528 4.32	45566 3.54	45718 3.01	45821 2.49	54646 4.22	57033 3.40	57169 2.84	57246 2.23	57312 2.16	57676 2.45	68455 3.31	71413 2.70	71612 1.91	72122 2.28	73314 2.00	79877 3.24	85715 2.61	89569 1.66	90108 2.15	91299 3.19	91677 1.85	91711 1.69	100017 2.55

续表

风速（m/s）	动压（Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		3000 630	4000 500	2500 800	2000 1000	1600 1250	3500 630	3000 800	2500 1000	2000 1250	4000 630	1600 1600	3500 800	3000 1000	2500 1250	4000 800	2000 1600	3500 1000	3000 1250	4000 1000	2500 1600	2000 2000	3500 1250	3000 1600
		上行：风量（m³/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
2.0	2.40	13519 0.04	14290 0.05	14319 0.03	14335 0.03	14339 0.03	15775 0.04	17187 0.03	17914 0.03	17930 0.03	18031 0.04	18363 0.02	20055 0.03	21502 0.03	22408 0.02	22923 0.03	22962 0.02	25090 0.03	26896 0.02	28678 0.02	28700 0.02	28714 0.02	31384 0.02	34447 0.02
2.5	3.75	16899 0.06	17862 0.08	17899 0.05	17919 0.05	17923 0.04	19719 0.06	21484 0.05	22393 0.04	22412 0.04	22538 0.06	22954 0.04	25069 0.05	26878 0.04	28010 0.04	28653 0.05	28703 0.03	31362 0.04	33620 0.03	35847 0.04	35875 0.03	35892 0.03	39230 0.03	43059 0.03
3.0	5.40	20279 0.09	21435 0.11	21479 0.07	21503 0.06	21508 0.06	23662 0.08	25781 0.07	26872 0.06	26895 0.05	27045 0.08	27544 0.05	30082 0.07	32253 0.06	33612 0.05	34384 0.06	34443 0.05	37635 0.05	40344 0.05	43017 0.05	43050 0.04	43071 0.04	47076 0.04	51671 0.04
3.5	7.35	23659 0.12	25007 0.14	25059 0.10	25087 0.09	25092 0.08	27606 0.11	30077 0.09	31350 0.08	31377 0.07	31554 0.11	32135 0.07	35096 0.09	37629 0.07	39215 0.07	40115 0.09	40184 0.06	43907 0.07	47068 0.06	50186 0.07	50225 0.05	50249 0.05	54922 0.06	60283 0.05
4.0	9.60	27038 0.15	28580 0.18	28639 0.12	28671 0.11	28677 0.10	31550 0.14	34374 0.12	35829 0.10	35860 0.09	36061 0.14	36726 0.09	40110 0.11	43004 0.10	44817 0.08	45845 0.11	45925 0.08	50180 0.09	53792 0.08	57355 0.09	57399 0.07	57427 0.07	62768 0.07	68895 0.06
4.5	12.15	30418 0.18	32152 0.22	32218 0.15	32254 0.14	32262 0.13	35494 0.18	38671 0.15	40307 0.13	40342 0.12	40569 0.18	41317 0.11	45123 0.14	48380 0.12	50419 0.10	51576 0.14	51665 0.10	56452 0.11	60516 0.10	64525 0.11	64574 0.09	64606 0.08	70614 0.09	77507 0.08
5.0	15.00	33798 0.22	35725 0.27	35798 0.19	35838 0.17	35846 0.16	39437 0.22	42968 0.18	44786 0.15	44825 0.14	45077 0.21	45907 0.13	50137 0.17	53755 0.14	56021 0.13	57306 0.17	57406 0.12	62725 0.14	67240 0.12	71694 0.13	71749 0.11	71784 0.10	78460 0.11	86119 0.10
5.5	18.15	37178 0.27	39297 0.33	39378 0.22	39422 0.20	39431 0.19	43381 0.26	47264 0.21	49265 0.18	49307 0.17	49585 0.26	50498 0.16	55151 0.21	59131 0.17	61623 0.15	63037 0.20	63146 0.14	68997 0.17	73964 0.14	78864 0.16	78924 0.13	78963 0.12	86305 0.14	94731 0.12
6.0	21.60	40558 0.32	42870 0.38	42958 0.26	43006 0.24	43016 0.22	47325 0.31	51561 0.25	53743 0.22	53790 0.20	54092 0.30	55089 0.19	60164 0.24	64506 0.20	67225 0.18	68768 0.24	68887 0.17	75270 0.20	80688 0.17	86033 0.19	86099 0.15	86141 0.14	94151 0.16	103342 0.14
6.5	25.35	43937 0.37	46442 0.45	46538 0.31	46590 0.27	46600 0.26	51269 0.36	55858 0.29	58222 0.25	58272 0.23	58600 0.35	59680 0.22	65178 0.28	69882 0.24	72827 0.21	74498 0.27	74628 0.19	81542 0.23	87412 0.20	93202 0.23	93274 0.17	93319 0.17	101997 0.19	111954 0.16
7.0	29.40	47317 0.42	50015 0.51	50118 0.35	50173 0.31	50185 0.30	55212 0.41	60155 0.34	62700 0.29	62755 0.27	63108 0.40	64270 0.25	70192 0.32	75258 0.27	78429 0.24	80229 0.32	80368 0.22	87815 0.26	94136 0.23	100372 0.25	100449 0.20	100498 0.19	109843 0.21	120566 0.18
7.5	33.75	50697 0.48	53587 0.59	53697 0.40	53757 0.36	53769 0.34	59156 0.47	64451 0.38	67179 0.33	67237 0.30	67615 0.46	68861 0.29	75206 0.37	80633 0.31	84031 0.27	85960 0.36	86109 0.25	94087 0.30	100860 0.26	107541 0.29	107624 0.23	107576 0.22	117689 0.24	129178 0.21
8.0	38.40	54077 0.55	57160 0.66	57277 0.46	57341 0.41	57354 0.38	63100 0.53	68748 0.43	71658 0.37	71719 0.34	72123 0.52	73452 0.33	80219 0.42	86009 0.35	89633 0.31	91690 0.41	91849 0.29	100360 0.34	107584 0.29	114711 0.33	114799 0.26	114855 0.25	125535 0.28	137790 0.24
8.5	43.35	57457 0.61	60732 0.74	60857 0.51	60925 0.46	60939 0.43	67044 0.60	73045 0.49	76136 0.42	76202 0.38	76631 0.58	78043 0.37	85233 0.47	91384 0.40	95235 0.35	97421 0.46	97590 0.32	106632 0.38	114308 0.33	121880 0.37	121974 0.29	122033 0.28	133381 0.31	146402 0.27
9.0	48.60	60836 0.68	64305 0.83	64437 0.57	64509 0.51	64523 0.48	70987 0.56	77342 0.54	80615 0.47	80684 0.43	81138 0.65	82633 0.41	90247 0.52	96760 0.44	100837 0.39	103152 0.51	103330 0.36	112905 0.42	121032 0.36	129050 0.41	129149 0.32	129212 0.31	141227 0.35	155014 0.30

续表

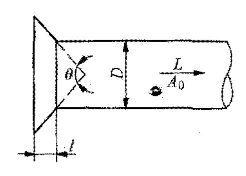
风速 （m/s）	动压 （Pa）	风管断面尺寸——上行：宽（mm） 下行：高（mm）																						
		3000 630	4000 500	2500 800	2000 1000	1600 1250	3500 630	3000 800	2500 1000	2000 1250	4000 630	1600 1600	3500 800	3000 1000	2500 1250	4000 800	2000 1600	3500 1000	3000 1250	4000 1000	2500 1600	2000 2000	3500 1250	3000 1600
		上行：风量（m^3/h） 下行：比摩阻（Pa/m）																						
9.5	54.15	64216 0.76	67877 0.92	68017 0.63	68093 0.56	68108 0.53	74931 0.74	81639 0.60	85093 0.52	85167 0.47	85646 0.72	87224 0.45	95260 0.58	102135 0.49	106439 0.43	108882 0.56	109071 0.40	119177 0.47	127756 0.40	136219 0.45	136324 0.36	136390 0.35	149073 0.38	163626 0.33
10.0	60.00	67596 0.84	71450 1.01	71597 0.70	71676 0.62	71693 0.58	78875 0.81	85935 0.66	89572 0.57	89649 0.52	90154 0.79	91815 0.50	100274 0.64	107511 0.54	112041 0.48	114613 0.62	114812 0.44	125450 0.52	134480 0.44	143388 0.50	143499 0.39	143568 0.38	156919 0.42	172237 0.35
10.5	66.15	70976 0.92	75022 1.11	75176 0.76	75250 0.68	75277 0.64	82819 0.89	90232 0.73	94051 0.63	94132 0.57	94661 0.87	96405 0.55	106288 0.70	112886 0.59	117643 052	120344 0.68	120652 0.48	131722 0.57	141204 0.49	150658 0.55	150674 0.43	150747 0.42	164765 0.46	180849 0.40
11.0	72.60	74356 1.00	78595 1.22	78756 0.84	78844 0.75	78862 0.70	85762 0.97	94529 0.80	98529 0.69	98614 0.63	99169 0.95	100996 0.60	110302 0.77	118252 0.65	123246 0.57	125074 0.75	126293 0.53	137995 0.62	147928 0.53	157727 0.60	157848 0.47	157925 0.46	172611 0.51	189461 0.44
11.5	79.35	77736 1.09	82167 1.32	82336 0.91	82428 0.81	82446 0.76	90706 1.06	98825 0.87	103008 0.75	103097 0.68	103677 1.04	105587 0.65	115315 0.84	123637 0.71	128848 0.62	131805 0.81	132033 0.58	144267 0.68	154552 0.58	164897 0.65	165023 0.52	165104 0.50	180457 0.55	198073 0.48
12.0	86.40	81115 1.19	85740 1.44	85916 0.99	86012 0.88	86031 0.83	94650 1.15	103122 0.94	107485 0.81	107579 0.74	108184 1.13	110178 0.71	120329 0.91	129013 0.77	134450 0.67	137535 0.88	137774 0.62	150540 0.73	161376 0.63	172066 0.71	172198 0.56	172282 0.54	188303 0.60	206685 0.52
12.5	93.75	84495 1.28	89312 1.56	89496 1.07	89595 0.95	89616 0.90	98594 1.25	107419 1.02	111965 0.88	112062 0.80	112692 1.22	114768 0.77	125343 0.98	134389 0.83	140052 0.73	143266 0.95	143514 0.68	156812 0.79	168100 0.68	179236 0.77	179373 0.60	179460 0.59	196149 0.65	215297 0.56
13.0	101.40	87875 1.38	92885 1.68	93075 1.15	93179 1.03	93200 0.97	102537 1.34	111716 1.10	116444 0.95	116544 0.87	117200 1.31	119359 0.83	130356 1.06	139764 0.89	145654 0.79	148997 1.03	149255 0.73	163085 0.86	174824 0.74	186405 0.83	186548 0.65	185639 0.63	203995 0.70	223909 0.60
13.5	109.35	91255 1.49	96457 1.80	96655 1.24	96763 1.10	96785 1.04	106481 1.44	116013 1.18	120922 1.02	121027 0.93	121708 1.41	123950 0.89	135370 1.14	145140 0.96	151256 0.85	154727 1.11	154996 0.78	169357 0.92	181548 0.79	193574 0.89	193723 0.70	193817 0.68	211841 0.75	232520 0.65
14.0	117.60	94635 1.60	100029 1.93	100235 1.33	100347 1.18	100370 1.11	110425 1.55	120309 1.27	125401 1.09	125509 1.00	126215 1.51	128541 0.95	140384 1.22	150515 1.03	156858 0.91	160458 1.19	160736 0.84	175629 0.99	188272 0.85	200744 0.95	200898 0.75	200995 0.73	219587 0.81	241132 0.69
14.5	126.15	98014 1.71	103602 2.07	103815 1.42	103931 1.27	103954 1.19	114359 1.66	124606 1.35	129879 1.17	129992 1.07	130723 1.62	133131 1.02	145397 1.31	155891 1.10	162460 0.97	166189 1.27	166477 0.90	181902 1.06	194995 0.91	207913 1.02	208073 0.81	208174 0.78	227533 0.86	249744 0.74
15.0	135.00	101394 1.82	107174 2.21	107395 1.52	107514 1.35	107539 1.27	118312 1.77	128903 1.45	134358 1.25	134474 1.14	135231 1.73	137722 1.09	150411 1.39	161265 1.18	168062 1.04	171919 1.36	172217 0.96	188174 1.13	201720 0.97	215083 1.09	215248 0.86	215353 0.83	235379 0.92	258356 0.79
15.5	144.15	104774 1.94	110747 2.35	110975 1.62	111098 1.44	111123 1.35	122256 1.89	133200 1.54	138837 1.33	138956 1.22	139738 1.84	142313 1.16	155425 1.49	166642 1.25	173664 1.11	177650 1.44	177958 1.02	194447 1.20	208444 1.03	222252 1.16	222423 0.92	222531 0.89	243225 0.98	266968 0.85
16.0	153.60	108154 2.07	114319 2.50	114554 1.72	114682 1.53	114708 1.44	126200 2.01	137496 1.64	143315 1.41	143439 1.29	144246 1.96	146904 1.23	160439 1.58	172017 1.33	179256 1.18	183381 1.54	183698 1.09	200719 1.28	215168 1.10	229421 1.23	229598 0.97	229709 0.95	251070 1.04	275580 0.90

注　本表摘自参考文献［6］。

附录F　通风空气调节风管系统常用配件局部阻力系数

管件A　进风口局部阻力系数

A-1　不在端墙上锥形渐缩喇叭口



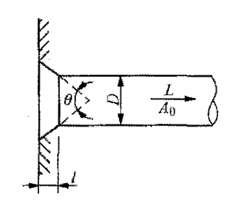
局部阻力系数ζ

l/D	θ (°)							
	0	10	20	30	40	60	100	1
0.025	1.0	0.96	0.93	0.90	0.86	0.80	0.69	0
0.05	1.0	0.93	0.86	0.80	0.75	0.67	0.58	0
0.10	1.0	0.80	0.67	0.55	0.48	0.41	0.41	0
0.25	1.0	0.68	0.45	0.30	0.22	0.17	0.22	0
0.60	1.0	0.46	0.27	0.18	0.14	0.13	0.21	0
1.0	1.0	0.32	0.20	0.14	0.11	0.10	0.18	0

注：1．对于矩形断面喇叭口 $D=2HB/(H+B)$。

2．H 为高度，m；B 为宽度，m

A-2　不在端墙上锥形渐缩喇叭口



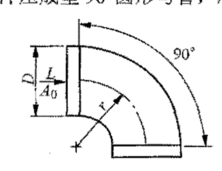
局部阻力系数ζ

l/D	θ (°)							
	0	10	20	30	40	60	100	1
0.025	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40	0.42	0
0.05	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.30	0.35	0
0.075	0.50	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.30	0
0.10	0.50	0.39	0.32	0.25	0.22	0.18	0.27	0
0.15	0.50	0.37	0.27	0.20	0.16	0.15	0.25	0
0.60	0.50	0.27	0.18	0.13	0.11	0.12	0.23	0

注：对于矩形断面喇叭口 $D=2HB/(H+B)$

管件B　弯管局部阻力系数

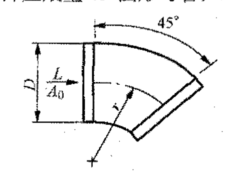
B-1　冲压成型90°圆形弯管，$r/D=1.5$



局部阻力系数ζ

D (mm)	75	100	125	150	180	200	230	250
ζ	0.30	0.21	0.16	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11

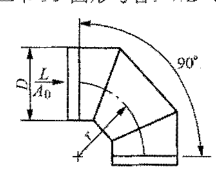
B-2　冲压成型45°圆形弯管，$r/D=1.5$



局部阻力系数ζ

D (mm)	75	100	125	150	180	200	230	250
ζ	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07

B-3　三节90°圆形弯管，$r/D=0.75\sim2.0$

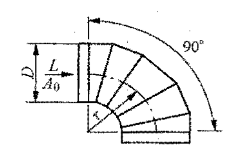


局部阻力系数ζ

r/D	0.75	1.00	1.50	2.00
ζ	0.54	0.42	0.34	0.33

续表

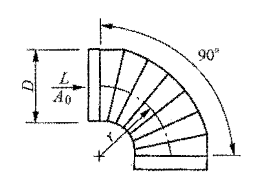
B-4　五节 90°圆形弯管，r/D=1.5



局部阻力系数ζ

D（mm）	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
ζ	0.51	0.28	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12

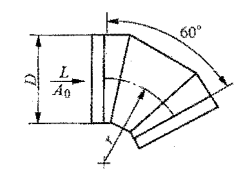
B-5　七节 90°圆形弯管，r/D=1.5



局部阻力系数ζ

D（mm）	75	150	230	300	380	450	690	1500
ζ	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03

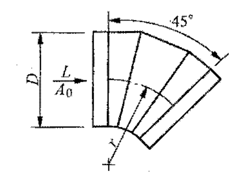
B-6　三节 60°圆形弯管，r/D=1.5



局部阻力系数ζ

D(mm)	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
ζ	0.40	0.21	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09

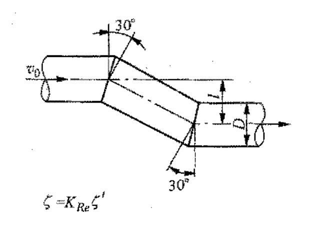
B-7　三节 45°圆形弯管，r/D=1.5



局部阻力系数ζ

D（mm）	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
ζ	0.31	0.17	0.13	0.11	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07

B-8　圆形风管 30°，Z 形弯管



$\zeta=K_{Re}\zeta'$

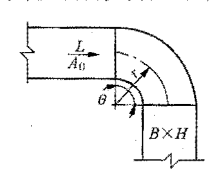
$Re\times10^{-4}\geqslant14$ 时的局部阻力系数ζ

l/D	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
ζ	0	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16

雷诺数修正系数 K_{Re}

$Re\times10^{-4}$	1	2	3	4	6	8	10	≥14
K_{Re}	1.40	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.04	1.0

B-9　内外弧形矩形弯管，不带导流片



$\zeta=K\zeta_p$

式中　K——角度修正系数。

θ=90° 时的局部阻力系数ζ_p

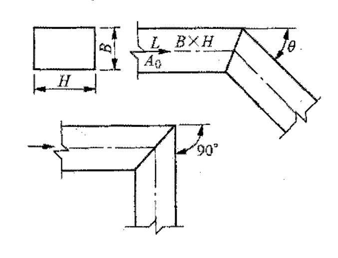
r/W	H/W										
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

角度修正系数 K

θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

续表

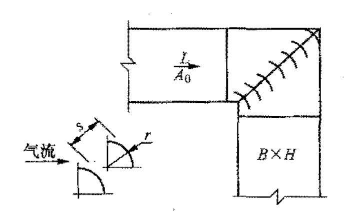
B-10　斜接式矩形弯管



局部阻力系数ζ

θ	H/B										
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
20	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
30	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
45	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
60	0.60	0.59	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
75	0.89	0.87	0.84	0.81	0.77	0.73	0.67	0.63	0.61	0.58	0.57
90	1.30	1.27	1.23	1.18	1.13	1.07	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83

B-11　斜接式90°矩形弯管，单弧形导流片

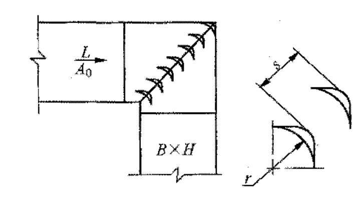


局部阻力系数ζ

导流片间距38mm	导流片间距83mm
r=50mm，s=40mm	r=110mm，s=80mm
ζ=0.11	ζ=0.33

注：对于矩形内外直角弯管，边长大于 500mm 的内弧外直角形、内斜线外直角形弯管可参照采用

B-12　斜接式90°矩形弯管，双弧形导流片

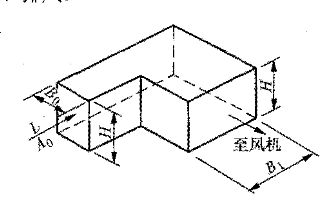


局部阻力系数ζ

导流片间距54mm	导流片间距83mm
r=50mm，s=60mm	r=110mm，s=80mm
ζ=0.25	ζ=0.41

注：对于矩形内外直角弯管，边长大于 500mm 的内弧外直角形、内斜线外直角形弯管可参照采用

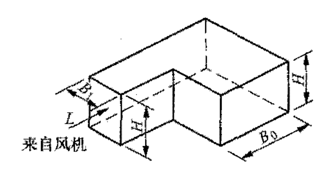
B-13　进口/出口90°变断面矩形弯管（回风、排风）



局部阻力系数ζ

H/B_0	B_1/B_0						
	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
0.25	1.76	1.43	1.24	1.14	1.09	1.06	1.06
1.00	1.70	1.36	1.15	1.02	0.95	0.90	0.84
4.00	1.46	1.10	0.90	0.81	0.76	0.72	0.66
100.00	1.50	1.04	0.79	0.69	0.63	0.60	0.55

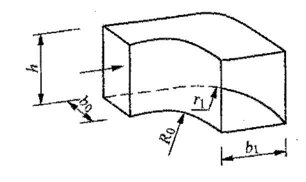
B-14　进口/出口90°变断面矩形弯管（送风）



局部阻力系数ζ

H/B_1	B_0/B_1						
	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
0.25	0.63	0.92	1.24	1.64	2.14	2.71	4.24
1.00	0.61	0.87	1.15	1.47	1.86	2.30	3.36
4.00	0.53	0.70	0.90	1.17	1.49	1.84	2.64
100.00	0.54	0.67	0.79	0.99	1.23	1.54	2.20

B-15　矩形变断面90°弧形弯管

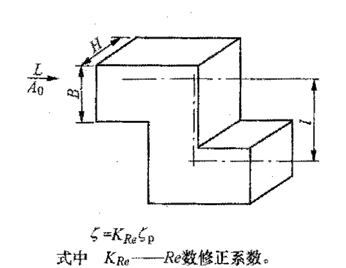


局部阻力系数ζ

r_1/b_0	b_1/b_0						
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
0	0.38	0.29	0.22	0.18	0.20	0.30	0.50
1.0	0.38	0.29	0.26	0.25	0.28	0.35	0.44
2.0	0.49	0.33	0.20	0.13	0.14	0.22	0.34

续表

B-16 矩形断面 Z 形弯管



$\zeta=K_{Re}\zeta_p$

式中 K_{Re}——Re数修正系数。

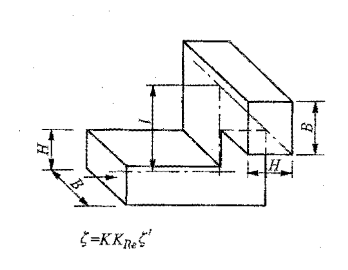
$Re/100\geqslant500$ 时的局部阻力系数ζ

H/B	L/B													
	0.0	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	4.0	8.0	10.0	100.0
0.25	0.00	0.68	0.99	1.77	2.89	3.97	4.41	4.60	4.64	4.60	3.39	3.03	2.70	2.53
0.50	0.00	0.66	0.96	1.72	2.81	3.86	4.29	4.47	4.52	4.47	3.30	2.94	2.62	2.46
0.75	0.00	0.64	0.94	1.67	2.74	3.75	4.17	4.35	4.39	4.35	3.20	2.86	2.55	2.39
1.00	0.00	0.62	0.90	1.61	2.63	3.61	4.01	4.18	4.22	4.18	3.08	2.75	2.45	2.30
1.50	0.00	0.59	0.86	1.53	2.50	3.43	3.81	3.97	4.01	3.97	2.93	2.61	2.33	2.19
2.00	0.00	0.56	0.81	1.45	2.37	3.25	3.61	3.76	3.80	3.76	2.77	2.48	2.21	2.07
3.00	0.00	0.51	0.75	1.34	2.18	3.00	3.33	3.47	3.50	3.47	2.56	2.28	2.03	1.91
4.00	0.00	0.48	0.70	1.26	2.05	2.82	3.13	3.26	3.29	3.26	2.40	2.15	1.91	1.79
6.00	0.00	0.45	0.65	1.16	1.89	2.60	2.89	3.01	3.04	3.01	2.22	1.98	1.76	1.66
8.00	0.00	0.43	0.63	1.13	1.84	2.53	2.81	2.93	2.95	2.93	2.16	1.93	1.72	1.61

雷诺数修正系数 K_{Re}

$Re/1000$	10	20	30	40	60	80	100	140	500
K_{Re}	1.40	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.04	1.00	1.00

B-17 矩形断面 2 个 90°弯管



$\zeta=KK_{Re}\zeta'$

正方形风管的局部阻力系数ζ'

l/B	0	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ζ	1.2	2.4	2.9	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.1
l/B	2.4	2.8	3.2	4.0	5.0	6.0	7.0	9.0	10.0	∞
ζ	3.2	3.2	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3

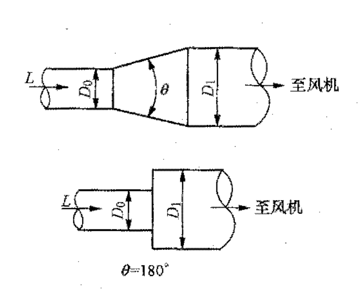
当 H/B 不等于 1 时要乘修正系数 K

H/B	0.25	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
K	1.10	1.07	1.04	1.0	0.95	0.90	0.83	0.78	0.72	0.70

注：雷诺数修正系数 K_{Re} 见 B-16

管件 C 变径管局部阻力系数

C-1 圆形断面变径管（回风、排风）



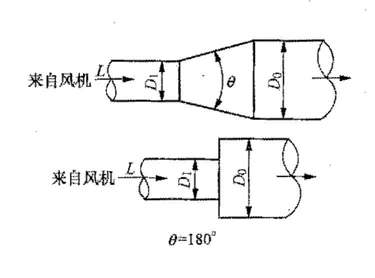
θ=180°

局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ（°）									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.21	0.29	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
0.10	0.21	0.28	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83	0.83
0.25	0.16	0.22	0.30	0.46	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62	0.62
0.50	0.11	0.13	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.24	0.48	0.72	0.96	1.04
4.00	0.80	0.64	0.64	0.64	0.88	1.12	2.72	4.32	5.60	6.56
6.00	1.80	1.44	1.44	1.44	1.98	2.52	6.48	10.10	13.00	15.10
10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.50	8.00	19.00	29.00	37.00	43.00

注：A_0 为对应于 D_0 的面积，m^2；A_1 为对应于 D_1 的面积，m^2

C-2 圆形断面变径管（送风）



θ=180°

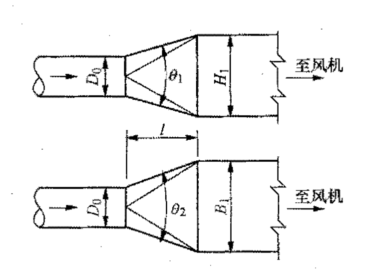
局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ（°）									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.44	0.52	0.76	1.28	1.32	1.32	1.28	1.24	1.20	1.20
4.00	2.56	3.52	4.80	7.36	9.76	10.88	10.24	10.08	9.92	9.92
10.00	21.00	28.00	38.00	59.00	76.00	80.00	83.00	84.00	83.00	83.00
16.00	53.76	74.24	97.28	153.60	215.04	225.28	225.28	225.28	225.28	225.28

注：A_0 为对应于 D_0 的面积，m^2；A_1 为对应于 D_1 的面积，m^2

续表

C-3　天圆地方变径管（回风、排风）

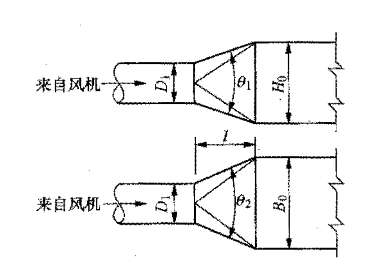


局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ (°)									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.30	0.54	0.53	0.65	0.77	0.88	0.95	0.98	0.98	0.93
0.10	0.30	0.50	0.53	0.64	0.75	0.84	0.89	0.91	0.91	0.88
0.25	0.25	0.36	0.45	0.52	0.58	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64
0.50	0.15	0.21	0.25	0.30	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.24	0.28	0.26	0.20	0.22	0.24	0.49	0.73	0.97	1.04
4.00	0.89	0.78	0.79	0.70	0.88	1.12	2.72	4.33	5.62	6.58
6.00	1.89	1.67	1.59	1.49	1.98	2.52	6.51	10.14	13.05	15.14
10.00	5.09	5.32	5.15	5.05	6.50	8.05	19.06	29.07	37.08	43.05

注：θ为θ_1与θ_2中较大者；A_0为对应于D_0的面积，m^2；A_1为对应于H_1或B_1的面积，m^2

C-4　天圆地方变径管（送风）

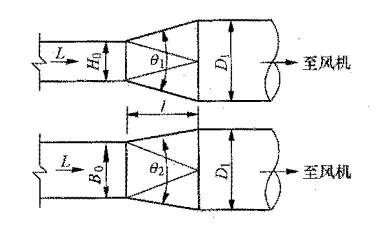


局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ (°)									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.50	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.60	0.84	1.00	1.20	1.32	1.32	1.32	1.28	1.24	1.20
4.00	4.00	5.76	7.20	8.32	9.28	9.92	10.24	10.24	10.24	10.24
10.00	30.00	50.00	53.00	64.00	75.00	84.00	89.00	91.00	91.00	88.00
16.00	76.80	138.24	135.68	166.40	197.12	225.28	243.20	250.88	250.88	238.08

注：θ为θ_1与θ_2中较大者；A_0为对应于H_0或W_0的面积，m^2；A_1为对应于D_1的面积，m^2

C-5　天方地圆变径管（回风、排风）

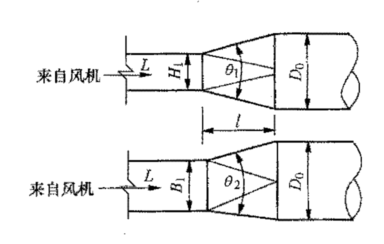


局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ (°)									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.30	0.54	0.53	0.65	0.77	0.88	0.95	0.98	0.98	0.93
0.10	0.30	0.50	0.53	0.64	0.75	0.84	0.89	0.91	0.91	0.88
0.25	0.25	0.36	0.45	0.52	0.58	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64
0.50	0.15	0.21	0.25	0.30	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.24	0.28	0.26	0.20	0.22	0.24	0.49	0.73	0.97	1.04
4.00	0.89	0.78	0.79	0.70	0.88	1.12	2.72	4.33	5.62	6.58
6.00	1.89	1.67	1.59	149	1.98	2.52	6.51	10.14	13.05	15.14
10.00	5.09	5.32	5.15	5.05	6.50	8.05	19.06	29.07	37.08	43.05

注：θ为θ_1与θ_2中较大者；A_0为对应于H_0或B_0的面积，m^2；A_1为对应于D_1的面积，m^2

C-6　天方地圆变径管（送风）



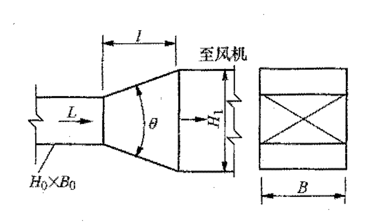
局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ (°)									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	4.41
0.50	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.60	0.84	1.00	1.20	1.32	1.32	1.32	1.28	1.24	1.20
4.00	4.00	5.76	7.20	8.32	9.28	9.92	10.24	10.24	10.24	10.24
10.00	30.00	50.00	53.00	64.00	75.00	84.00	89.00	91.00	91.00	88.00
16.00	76.80	138.24	135.68	166.40	197.12	225.28	243.20	250.88	250.88	238.08

注：θ为θ_1与θ_2中较大者；A_0为对应于D_0的面积，m^2；A_1为对应于H_1或B_1的面积，m^2

续表

C-7 矩形变径管，两侧平行对称（回风、排风）

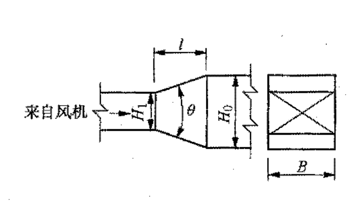


局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ (°)									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.26	0.27	0.40	0.56	0.71	0.86	1.00	0.99	0.98	0.98
0.10	0.24	0.26	0.36	0.53	0.69	0.82	0.93	0.93	0.92	0.91
0.25	0.17	0.19	0.22	0.42	0.60	0.68	0.70	0.69	0.67	0.66
0.50	0.14	0.13	0.15	0.24	0.35	0.37	0.38	0.37	0.36	0.35
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.23	0.20	0.20	0.20	0.24	0.28	0.54	0.78	1.02	1.09
4.00	0.81	0.64	0.64	0.64	0.88	1.12	2.78	4.38	5.65	6.60
6.00	1.82	1.44	1.44	1.44	1.98	2.53	6.56	10.20	13.00	15.20
10.00	5.03	5.00	5.00	5.00	6.50	8.02	19.10	29.10	37.10	43.10

注：A_0为对应于H_0的面积，m^2；A_1为对应于H_1的面积，m^2

C-8 矩形变径管，两侧平行对称（送风）

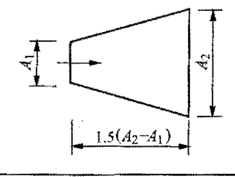


局部阻力系数ζ

A_0/A_1	θ (°)									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.36	0.41
0.50	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.20	0.26	0.27
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2.00	0.56	0.52	0.60	0.96	1.40	1.48	1.52	1.48	1.44	1.40
4.00	2.72	3.04	3.52	6.72	9.60	10.88	11.20	11.04	10.72	10.56
10.00	24.00	26.00	36.00	53.00	69.00	82.00	93.00	93.00	92.00	91.00
16.00	66.56	69.12	102.40	143.36	181.76	220.16	256.00	253.44	250.88	250.88

注：A_0为对应于H_0的面积，m^2；A_1为对应于H_1的面积，m^2

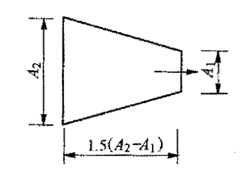
C-9 矩形变径管（渐扩管）



局部阻力系数ζ

形式	双面偏			单面偏		
A_2/A_1	2.08～2.00	1.67～1.56	1.33～1.25	2.08～2.00	1.67～1.56	1.33～1.25
ζ	0.16	0.09	0.02	0.28	0.17	0.05

C-10 矩形变径管（渐缩管）

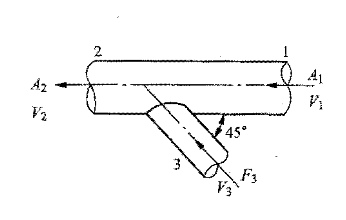


局部阻力系数ζ

形式	双面偏			单面偏		
A_2/A_1	2.08～2.00	1.67～1.56	1.33～1.25	2.08～2.00	1.67～1.56	1.33～1.25
ζ	0.09	0.08	0.04	0.11	0.10	0.05

管件D 圆形风管三通（四通）局部阻力系数

D-1 圆风管Y形45°合流三通



旁通管局部阻力系数ζ_{3-2}

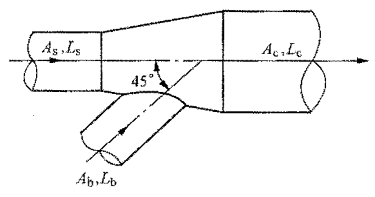
A_1/A_3	V_3/V_2				
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.0	0	0.22	0.37	0.37	0.20
3.0	−0.36	−0.10	0.15	0.40	0.75
8.2	−0.56	−0.32	−0.05	0.24	0.55

直通管局部阻力系数ζ_{1-2}

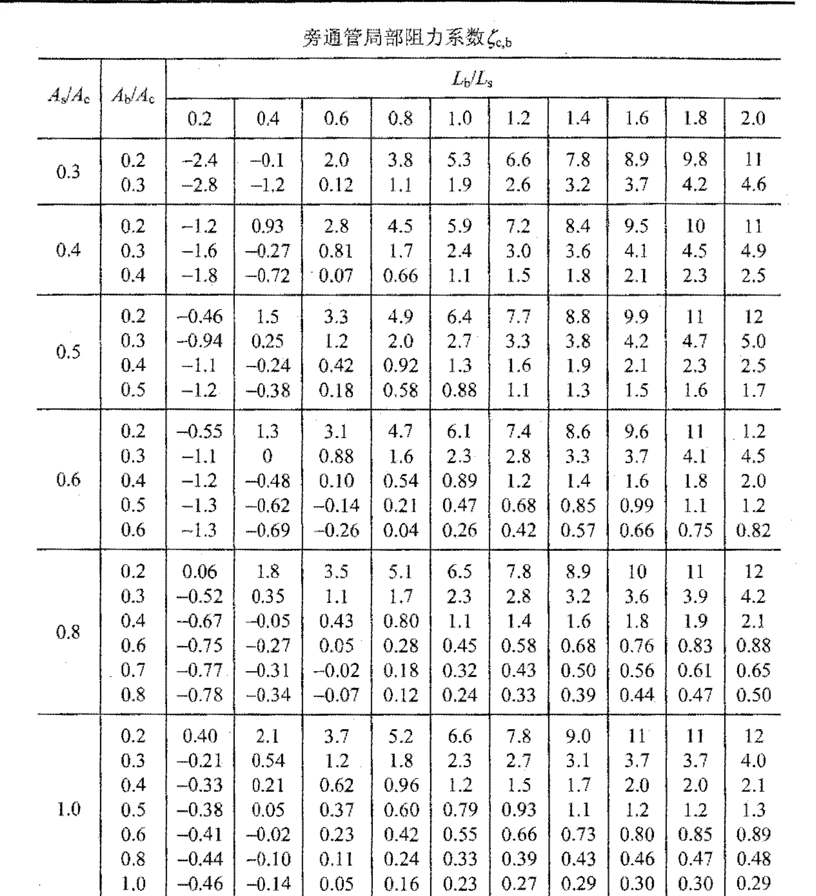
A_2/A_3	V_1/V_2				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	−0.17	0.06	0.19	0.17	0.04
3.0	−1.50	−0.70	−0.20	0.10	0
8.2	−5.70	−2.90	−1.10	−0.10	0

续表

D-2　圆风管锥形45°合流三通



旁通管局部阻力系数$\zeta_{c,b}$



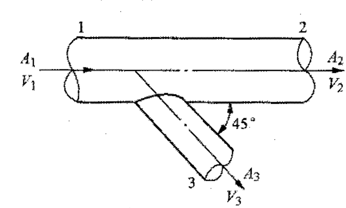
A_s/A_c	A_b/A_c	L_b/L_s 0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.3	0.2	−2.4	−0.1	2.0	3.8	5.3	6.6	7.8	8.9	9.8	11
	0.3	−2.8	−1.2	0.12	1.1	1.9	2.6	3.2	3.7	4.2	4.6
0.4	0.2	−1.2	0.93	2.8	4.5	5.9	7.2	8.4	9.5	10	11
	0.3	−1.6	−0.27	0.81	1.7	2.4	3.0	3.6	4.1	4.5	4.9
	0.4	−1.8	−0.72	0.07	0.66	1.1	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5
0.5	0.2	−0.46	1.5	3.3	4.9	6.4	7.7	8.8	9.9	11	12
	0.3	−0.94	0.25	1.2	2.0	2.7	3.3	3.8	4.2	4.7	5.0
	0.4	−1.1	−0.24	0.42	0.92	1.3	1.6	1.9	2.1	2.3	2.5
	0.5	−1.2	−0.38	0.18	0.58	0.88	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7
0.6	0.2	−0.55	1.3	3.1	4.7	6.1	7.4	8.6	9.6	11	1.2
	0.3	−1.1	0	0.88	1.6	2.3	2.8	3.3	3.7	4.1	4.5
	0.4	−1.2	−0.48	0.10	0.54	0.89	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	0.5	−1.3	−0.62	−0.14	0.21	0.47	0.68	0.85	0.99	1.1	1.2
	0.6	−1.3	−0.69	−0.26	0.04	0.26	0.42	0.57	0.66	0.75	0.82
0.8	0.2	0.06	1.8	3.5	5.1	6.5	7.8	8.9	10	11	12
	0.3	−0.52	0.35	1.1	1.7	2.3	2.8	3.2	3.6	3.9	4.2
	0.4	−0.67	−0.05	0.43	0.80	1.1	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1
	0.6	−0.75	−0.27	0.05	0.28	0.45	0.58	0.68	0.76	0.83	0.88
	0.7	−0.77	−0.31	−0.02	0.18	0.32	0.43	0.50	0.56	0.61	0.65
	0.8	−0.78	−0.34	−0.07	0.12	0.24	0.33	0.39	0.44	0.47	0.50
1.0	0.2	0.40	2.1	3.7	5.2	6.6	7.8	9.0	11	11	12
	0.3	−0.21	0.54	1.2	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7	3.7	4.0
	0.4	−0.33	0.21	0.62	0.96	1.2	1.5	1.7	2.0	2.0	2.1
	0.5	−0.38	0.05	0.37	0.60	0.79	0.93	1.1	1.2	1.2	1.3
	0.6	−0.41	−0.02	0.23	0.42	0.55	0.66	0.73	0.80	0.85	0.89
	0.8	−0.44	−0.10	0.11	0.24	0.33	0.39	0.43	0.46	0.47	0.48
	1.0	−0.46	−0.14	0.05	0.16	0.23	0.27	0.29	0.30	0.30	0.29

直通管局部阻力系数$\zeta_{c,s}$

A_s/A_c	A_b/A_c	L_b/L_s 0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.3	0.2	5.3	−0.01	2.0	1.1	0.34	−0.20	−0.61	−0.93	−1.2	−1.4
	0.3	5.4	3.7	2.5	1.6	1.0	0.53	0.16	−0.14	−0.38	−0.58
0.4	0.2	1.9	1.1	0.46	−0.07	−0.49	−0.83	−1.1	−1.3	−1.5	−1.7
	0.3	2.0	1.4	0.81	0.42	0.08	−0.20	−0.43	−0.62	−0.78	−0.92
	0.4	2.0	1.5	1.0	0.68	0.39	0.16	−0.04	−0.21	−0.35	−0.47
0.5	0.2	0.77	0.34	−0.09	−0.48	−0.81	−1.1	−1.3	−1.5	−1.7	−1.8
	0.3	0.85	0.56	0.25	−0.03	−0.27	−0.48	−0.67	−0.82	−0.96	−1.1
	0.4	0.88	0.66	0.43	0.21	0.02	−0.15	−0.30	−0.42	−0.54	−0.64
	0.5	0.91	0.73	0.54	0.36	0.21	0.06	−0.06	−0.17	−0.26	−0.35
0.6	0.2	0.30	0	−0.34	−0.67	−0.96	−1.2	−1.4	−1.6	−1.8	−1.9
	0.3	0.37	0.21	−0.02	−0.24	−0.44	−0.63	−0.79	−0.93	−1.1	−1.2
	0.4	0.40	0.31	0.16	−0.1	−0.16	−0.30	−0.43	−0.54	−0.64	−0.73
	0.5	0.43	0.37	0.26	0.14	0.02	−0.09	−0.20	−0.29	−0.37	−0.45
	0.6	0.44	0.41	0.33	0.24	0.14	0.05	−0.03	−0.11	−0.18	−0.25
0.8	0.2	−0.06	−0.27	−0.57	−0.86	−1.1	−1.4	−1.6	−1.7	−1.9	−2.0
	0.3	0	−0.08	−0.25	−0.43	−0.62	−0.78	−0.93	−1.1	−1.2	−1.3
	0.4	0.04	0.02	−0.08	−0.21	−0.34	−0.46	−0.57	−0.67	−0.77	−0.85
	0.5	0.06	0.08	0.02	−0.06	−0.16	−0.25	−0.34	−0.42	−0.50	−0.57
	0.6	0.07	0.12	0.09	0.03	−0.04	−0.11	−0.18	−0.25	−0.31	−0.37
	0.7	0.08	0.15	0.14	0.10	0.05	−0.01	−0.07	−0.12	−0.17	−0.22
	0.8	0.09	0.17	0.18	0.16	0.11	0.07	0.02	−0.02	−0.07	−0.11

续表

D-3　圆风管 Y 形 45°分流三通

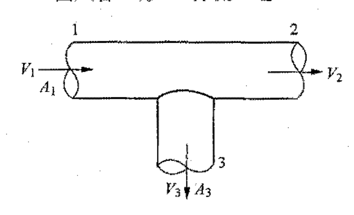


旁通管局部阻力系数$\zeta_{1\text{-}3}$

A_1/A_3	V_3/V_1				
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.0	3.2	1.02	0.52	0.47	—
3.0	3.7	1.4	0.75	0.51	0.42
8.2	—	—	0.79	0.57	0.47

直通管局部阻力系数$\zeta_{1\text{-}2}$=0.05～0.06

D-4　圆风管 T 形 45°分流三通



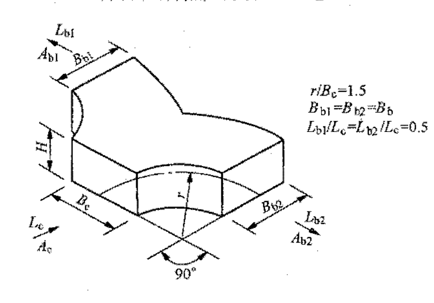
旁通管局部阻力系数$\zeta_{1\text{-}3}$

V_3/V_1	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
$\zeta_{1\text{-}3}$	1.90	1.27	0.39	0.50	0.37

直通管局部阻力系数$\zeta_{1\text{-}2}$

V_2/V_1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
$\zeta_{1\text{-}2}$	0.20	0.15	0.10	0.06	0.02	0

D-5　矩形风管燕尾形分流三通

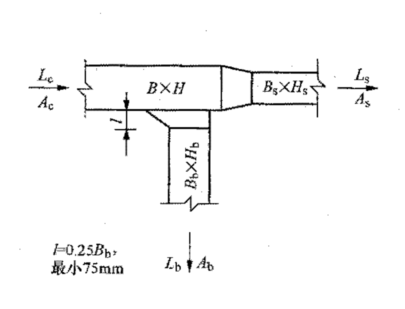


局部阻力系数ζ_b

A_b/A_c	0.5	1.0
ζ_b	0.30	1.00

注：分支管相等，$L_{b1}=L_{b2}=L_b$，$\zeta_{b1}=\zeta_{b2}=\zeta_b$

D-6　矩形风管 T 形分流三通（90°支管接口）



旁通管局部阻力系数ζ_b

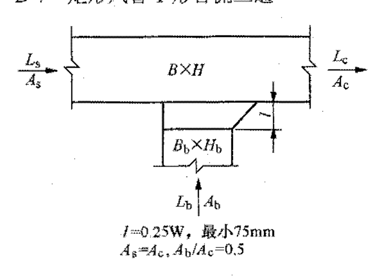
A_b/A_c	L_b/L_c								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.73	0.34	0.32	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40
0.2	3.10	0.73	0.41	0.34	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35
0.3	7.59	1.65	0.73	0.47	0.37	0.34	0.32	0.32	0.32
0.4	14.20	3.10	1.28	0.73	0.51	0.41	0.36	0.34	0.32
0.5	22.92	5.08	2.07	1.12	0.73	0.54	0.44	0.38	0.35
0.6	33.76	7.59	3.10	1.65	1.03	0.73	0.56	0.47	0.41
0.7	46.71	10.63	4.36	2.31	1.42	0.98	0.73	0.58	0.49
0.8	61.79	14.20	5.86	3.10	1.90	1.28	0.94	0.73	0.60
0.9	78.98	18.29	7.59	4.02	2.46	1.65	1.19	0.91	0.73

直通管局部阻力系数ζ_s

A_s/A_c	L_s/L_c								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.04								
0.2	0.98	0.04							
0.3	3.48	0.31	0.04						
0.4	7.55	0.98	0.18	0.04					
0.5	13.18	2.03	0.49	0.13	0.04				
0.6	20.38	3.48	0.98	0.31	0.10	0.04			
0.7	29.15	5.32	1.64	0.60	0.23	0.09	0.04		
0.8	39.48	7.55	2.47	0.98	0.42	0.18	0.08	0.04	
0.9	51.37	10.17	3.48	1.46	0.67	0.31	0.12	0.07	0.04

续表

D-7 矩形风管T形合流三通



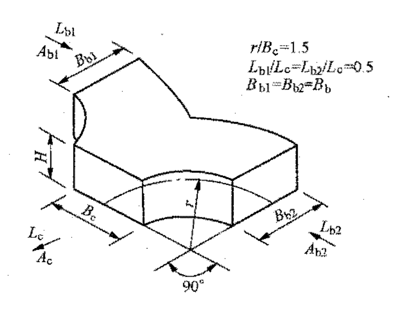
旁通管局部阻力系数ζ_b

L_b/L_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
ζ_b	-18.00	-3.25	-0.64	0.53	0.76	0.79	0.93	0.79	0.90	0.91

直通管局部阻力系数ζ_s

L_sL_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ζ_s	2.15	11.91	6.54	3.74	2.23	1.33	0.76	0.38	0.10

D-8 矩形风管燕尾形合流三通

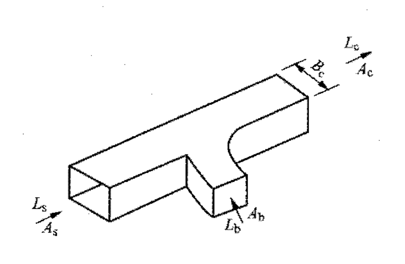


局部阻力系数ζ_b

A_b/A_c	0.5	1.0
ζ_b	0.23	0.28

注：分支管相等，$L_{b1}=L_{b2}=L_b$，$A_{b1}=A_{b2}=A_b$，$\zeta_{b1}=\zeta_{b2}=\zeta_b$

D-9 矩形风管Y形合流三通（90°支管接口）



旁通管局部阻力系数$\zeta_{c,b}$

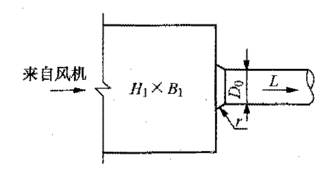
A_b/A_s	A_b/A_c	L_b/L_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	-0.50	0	0.50	1.2	2.2	3.7	5.8	8.4	11
0.33	0.25	-1.2	-0.40	0.40	1.6	3.0	4.8	6.8	8.9	11
0.5	0.5	-0.50	-0.20	0	0.25	0.45	0.70	1.0	1.5	2.0
0.67	0.5	-1.0	-0.60	-0.20	0.10	0.30	0.60	1.0	1.5	2.0
1.0	0.5	-2.2	-1.5	-0.95	-0.50	0	0.40	0.80	1.3	1.9
1.0	1.0	-0.60	-0.30	-0.10	-0.04	0.13	0.21	0.29	0.36	0.42
1.33	1.0	-1.2	-0.80	-0.40	-0.20	0	0.16	0.24	0.32	0.38
2.0	1.0	-2.1	-1.4	-0.90	-0.50	-0.20	0	0.20	0.25	0.30

直通管局部阻力系数$\zeta_{c,s}$

A_s/A_c	A_b/A_c	L_b/L_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.75	0.25	0.30	0.30	0.20	-0.1	-0.45	-0.92	-1.5	-2.0	-2.6
1.0	0.5	0.17	0.16	0.10	0	-0.08	-0.18	-0.27	-0.37	-0.46
0.75	0.5	0.27	0.35	0.32	0.25	0.12	-0.03	-0.23	-0.42	-0.58
0.5	0.5	1.2	1.1	0.90	0.65	0.35	0	-0.40	-0.80	-1.3
1.0	1.0	0.18	0.24	0.27	0.26	0.23	0.18	0.10	0	-0.12
0.75	1.0	0.75	0.36	0.38	0.35	0.27	0.18	0.05	-0.08	-0.22
0.5	1.0	0.80	0.87	0.80	0.68	0.55	0.40	0.25	0.08	-0.10

管件E 静压箱与风管连接局部阻力系数

E-1 静压箱与圆风管连接（送风）

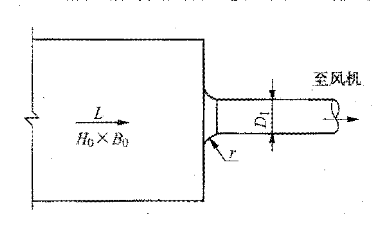


局部阻力系数ζ

r/D_0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	10.00
ζ	0.50	0.44	0.36	0.31	0.26	0.22	0.20	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.03

续表

E-2 静压箱与圆风管连接（回风、排风）



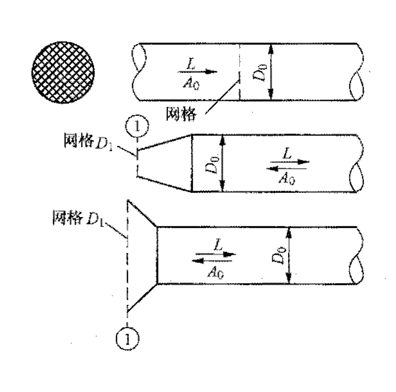
局部阻力系数ζ

A_0/A_1	r/D_1												
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	10.00
1.5	0.22	0.20	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01
2.0	0.13	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
2.5	0.08	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
3.0	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
4.0	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
8.0	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：A_0为静压箱的断面积，m^2；A_1为风管的断面积，m^2

管件 F 装有金属网格风管局部阻力系数

F-1 圆形风管

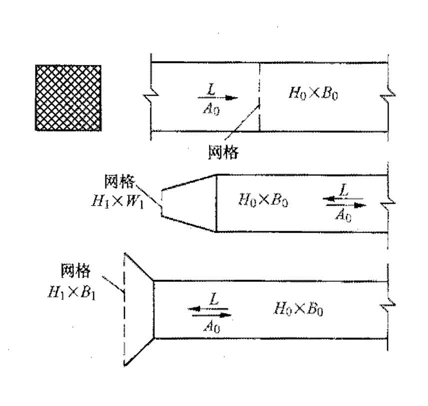


局部阻力系数ζ

A_1/A_0	n												
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.2	155.00	102.50	75.00	55.00	41.25	31.50	24.25	18.75	14.50	11.00	8.00	3.50	0.00
0.3	68.89	45.56	33.33	24.44	18.33	14.00	10.78	8.33	6.44	4.89	3.56	1.56	0.00
0.4	38.75	25.63	18.75	13.75	10.31	7.88	6.06	4.69	3.63	2.75	2.00	0.88	0.00
0.5	24.80	16.40	12.00	8.80	6.60	5.04	3.88	3.00	2.32	1.76	1.28	0.56	0.00
0.6	17.22	11.39	8.33	6.11	4.58	3.50	2.69	2.08	1.61	1.22	0.89	0.39	0.00
0.7	12.65	8.37	6.12	4.49	3.37	2.57	1.98	1.53	1.18	0.90	0.65	0.29	0.00
0.8	9.69	6.40	4.69	3.44	2.58	1.97	1.52	1.17	0.91	0.69	0.50	0.22	0.00
0.9	7.65	5.06	3.70	2.72	2.04	1.56	1.20	0.93	0.72	0.54	0.40	0.17	0.00
1.0	6.20	4.10	3.00	2.20	1.65	1.26	0.97	0.75	0.58	0.44	0.32	0.14	0.00
1.2	4.31	2.85	2.08	1.53	1.15	0.88	0.67	0.52	0.40	0.31	0.22	0.10	0.00
1.4	3.16	2.09	1.53	1.12	0.84	0.64	0.49	0.38	0.30	0.22	0.16	0.07	0.00
1.6	2.42	1.60	1.17	0.86	0.64	0.49	0.38	0.29	0.23	0.17	0.13	0.05	0.00
1.8	1.91	1.27	0.93	0.68	0.51	0.39	0.30	0.23	0.18	0.14	0.10	0.04	0.00
2.0	1.55	1.03	0.75	0.55	0.41	0.32	0.24	0.19	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00
2.5	0.99	0.66	0.48	0.35	0.26	0.20	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00
3.0	0.69	0.46	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00
4.0	0.39	0.26	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
6.0	0.17	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00

注：n 为网格的有效面积比值；A_0为风管的断面积，m^2；A_1为风管或配件中装有网格的断面积

F-2 矩形风管



局部阻力系数ζ

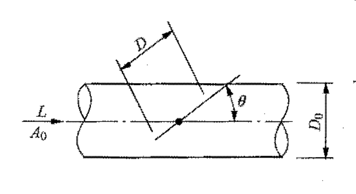
A_1/A_0	n												
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.2	155.00	102.50	75.00	55.00	41.25	31.50	24.25	18.75	14.50	11.00	8.00	3.50	0.00
0.3	68.89	45.56	33.33	24.44	18.33	14.00	10.78	8.33	6.44	4.89	3.56	1.56	0.00
0.4	38.75	25.63	18.75	13.75	10.31	7.88	6.06	4.69	3.63	2.75	2.00	0.88	0.00
0.5	24.80	16.40	12.00	8.80	6.60	5.04	3.88	3.00	2.32	1.76	1.28	0.56	0.00
0.6	17.22	11.39	8.33	6.11	4.58	3.50	2.69	2.08	1.61	1.22	0.89	0.39	0.00
0.7	12.65	8.37	6.12	4.49	3.37	2.57	1.98	1.53	1.18	0.90	0.65	0.29	0.00
0.8	9.69	6.40	4.69	3.44	2.58	1.97	1.52	1.17	0.91	0.69	0.50	0.22	0.00
0.9	7.65	5.06	3.70	2.72	2.04	1.56	1.20	0.93	0.72	0.54	0.40	0.17	0.00
1.0	6.20	4.10	3.00	2.20	1.65	1.26	0.97	0.75	0.58	0.44	0.32	0.14	0.00
1.2	4.31	2.85	2.08	1.53	1.15	0.88	0.67	0.52	0.40	0.31	0.22	0.10	0.00
1.4	3.16	2.09	1.53	1.12	0.84	0.64	0.49	0.38	0.30	0.22	0.16	0.07	0.00
1.6	2.42	1.60	1.17	0.86	0.64	0.49	0.38	0.29	0.23	0.17	0.13	0.05	0.00
1.8	1.91	1.27	0.93	0.68	0.51	0.39	0.30	0.23	0.18	0.14	0.10	0.04	0.00
2.0	1.55	1.03	0.75	0.55	0.41	0.32	0.24	0.19	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00
2.5	0.99	0.66	0.48	0.35	0.26	0.20	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00
3.0	0.69	0.46	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00
4.0	0.39	0.26	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.10	0.00
6.0	0.17	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00

注：n 为网格的有效面积比值；A_0为风管的断面积，m^2；A_1为风管或配件中装有网格的断面积

续表

管件 G　风阀局部阻力系数

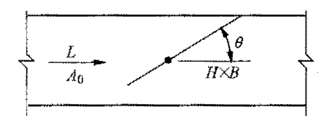
G-1　圆形蝶阀



圆形蝶阀局部阻力系数ζ

D/D_0	θ (°)											
	0	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90
0.5	0.19	0.27	0.37	0.49	0.61	0.74	0.86	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04
0.6	0.19	0.32	0.48	0.69	0.94	1.21	1.48	1.72	1.82	1.89	1.93	2.00
0.7	0.19	0.37	0.64	1.01	1.51	2.12	2.81	3.46	3.73	3.94	4.08	6.00
0.8	0.19	0.45	0.87	1.55	2.60	4.13	6.14	8.38	9.40	10.30	10.80	15.00
0.9	0.19	0.54	1.22	2.51	4.97	9.57	17.80	30.50	38.00	45.00	50.10	100.00
1.0	0.19	0.67	1.76	4.38	11.20	32.00	113.00	619.00	2010.00	10350.00	99999.00	99999.00

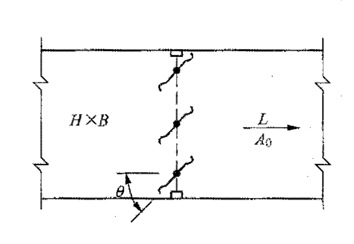
G-2　矩形蝶阀



矩形蝶阀局部阻力系数ζ

H/B	θ (°)									
	0	10	20	30	40	50	60	65	70	90
0.12	0.04	0.30	1.10	3.00	8.00	23.00	60.00	100.00	190.00	99999
0.25	0.08	0.33	1.18	3.30	9.00	26.00	70.00	128.00	210.00	99999
1.00	0.08	0.33	1.18	3.30	9.00	26.00	70.00	128.00	210.00	99999
2.00	0.13	0.35	1.25	3.60	10.00	29.00	80.00	155.00	230.00	99999

G-3　矩形风管平行多叶阀



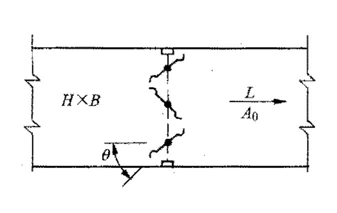
局部阻力系数ζ

l/R	θ (°)								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0.3	0.52	0.79	1.49	2.20	4.95	8.73	14.15	32.11	122.06
0.4	0.52	0.84	1.56	2.25	5.03	9.00	16.00	37.73	156.58
0.5	0.52	0.88	1.62	2.35	5.11	9.52	18.88	44.79	187.85
0.6	0.52	0.92	1.66	2.45	5.20	9.77	21.75	53.78	288.89
0.8	0.52	0.96	1.69	2.55	5.30	10.03	22.80	65.46	295.22
1.0	0.52	1.00	1.76	2.66	5.40	10.53	23.84	73.23	361.00
1.5	0.52	1.08	1.83	2.78	5.44	11.21	27.56	97.41	495.31

注：
$$l/R=\frac{NB}{2(H+B)}$$

式中：N 为风阀叶片数；B 为平行于叶片轴线的风管尺寸，mm；H 为风管高度，mm；l 为风阀叶片长度之和，mm；R 为风管的周长，mm

G-4　矩形风管对开式多叶阀



局部阻力系数ζ

l/R	θ (°)								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0.3	0.52	0.79	1.91	3.77	8.55	19.46	70.12	295.21	807.23
0.4	0.52	0.85	2.07	4.61	10.42	26.73	92.90	346.25	926.34
0.5	0.52	0.93	2.25	5.44	12.29	33.99	118.91	393.36	1045.44
0.6	0.52	1.00	2.46	5.99	14.15	41.26	143.69	440.25	1163.09
0.8	0.52	1.08	2.66	6.96	18.18	56.47	193.92	520.27	1324.85
1.0	0.52	1.17	2.91	7.31	20.25	71.68	245.45	576.00	1521.00
1.5	0.52	1.38	3.16	9.51	27.56	107.41	361.00	717.05	1804.40

注：
$$l/R=\frac{NB}{2(H+B)}$$

式中：N 为风阀叶片数；B 为平行于叶片轴线的风管尺寸，mm；H 为风管高度，mm；l 为风阀叶片长度之和，mm；R 为风管的周长，mm

注　本表摘自参考文献［6］。

附录G 运煤皮带转运站机械除尘抽风量[1]

表 G-1 运煤皮带转运站机械除尘抽风量（**B=500mm**）

落煤管角度 α（°）	煤流落差 H（m）	煤流末速度 v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			带宽 B=500mm，落煤管直径 D=450mm			落煤管与煤流断面比 A_n/A_m=9.48			有效缝隙面积 A=0.14m^2
			上行：带速 v_b（m/s）下行：出力 V（t/h）						
			0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
			52	64	81	103	129	161	
55	2	4.77	33	41	52	66	82	103	1266
	3	5.84	41	50	63	81	101	126	1550
	4	6.75	47	58	73	93	116	145	1790
	5	7.54	52	65	82	104	130	163	2001
	6	8.26	57	71	90	114	143	178	2192
	7	8.92	62	76	97	123	154	192	2368
	8	9.54	66	82	103	132	165	206	2532
	9	10.12	70	87	110	139	175	218	2685
	10	10.67	74	91	116	147	184	230	2830
	11	11.19	78	96	121	154	193	241	2969
	12	11.68	81	100	127	161	202	252	3101
	13	12.16	85	104	132	168	210	262	3227
	14	12.62	88	108	137	174	218	272	3349
	15	13.06	91	112	142	180	226	281	3467
	16	13.49	94	116	146	186	233	291	3580
	17	13.91	97	119	151	192	240	300	3690
	18	14.31	100	123	155	197	247	308	3797
	19	14.70	102	126	159	203	254	317	3901
	20	15.08	105	129	164	208	260	325	4003
60	2	5.06	35	43	55	70	87	109	1344
	3	6.20	43	53	67	86	107	134	1646
	4	7.16	50	61	78	99	124	154	1900
	5	8.01	56	69	87	110	138	173	2125
	6	8.77	61	75	95	121	151	189	2328
	7	9.47	66	81	103	131	164	204	2514
	8	10.13	70	87	110	140	175	218	2688
	9	10.74	75	92	116	148	185	231	2851
	10	11.32	79	97	123	156	196	244	3005
	11	11.88	83	102	129	164	205	256	3152

[1] 机械除尘抽风量计算采用的煤堆积密度为0.85t/m^3，皮带托辊槽角为35°，煤流运行堆积角为20°，倾斜输送机面积折减系数为0.87。

续表

落煤管角度 α（°）	煤流落差 H（m）	煤流末速度 v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			带宽 B=500mm，落煤管直径 D=450mm			落煤管与煤流断面比 A_t/A_m=9.48			有效缝隙面积 A=0.14m^2
			上行：带速 v_b（m/s） 下行：出力 V（t/h）						
			0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
			52	64	81	103	129	161	
60	12	12.40	86	106	134	171	214	267	3292
	13	12.91	90	111	140	178	223	278	3426
	14	13.40	93	115	145	185	231	289	3555
	15	13.87	97	119	150	191	239	299	3680
	16	14.32	100	123	155	197	247	309	3801
	17	14.76	103	126	160	204	255	318	3918
	18	15.19	106	130	165	209	262	327	4032
	19	15.61	109	134	169	215	269	336	4142
	20	16.01	111	137	174	221	276	345	4250
65	2	5.32	37	46	58	73	92	115	1411
	3	6.51	45	56	71	90	112	140	1728
	4	7.52	52	64	82	104	130	162	1995
	5	8.41	58	72	91	116	145	181	2230
	6	9.21	64	79	100	127	159	198	2443
	7	9.95	69	85	108	137	172	214	2639
	8	10.63	74	91	115	147	184	229	2821
	9	11.28	78	97	122	155	195	243	2992
	10	11.89	83	102	129	164	205	256	3154
	11	12.47	87	107	135	172	215	269	3308
	12	13.02	91	112	141	180	225	281	3455
	13	13.55	94	116	147	187	234	292	3597
	14	14.07	98	120	152	194	243	303	3732
	15	14.56	101	125	158	201	251	314	3863
	16	15.04	105	129	163	207	260	324	3990
	17	15.50	108	133	168	214	268	334	4113
	18	15.95	111	137	173	220	275	344	4232
	19	16.39	114	140	178	226	283	353	4348
	20	16.81	117	144	182	232	290	362	4461
90	2	6.26	44	54	68	86	108	135	1662
	3	7.67	53	66	83	106	132	165	2036
	4	8.86	62	76	96	122	153	191	2351
	5	9.90	69	85	107	137	171	213	2628
	6	10.85	76	93	118	150	187	234	2879
	7	11.72	82	100	127	162	202	253	3110
	8	12.53	87	107	136	173	216	270	3324
	9	13.29	92	114	144	183	229	286	3526

续表

落煤管角度 α（°）	煤流落差 H（m）	煤流末速度 v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			带宽 B=500mm，落煤管直径 D=450mm			落煤管与煤流断面比 A_n/A_m=9.48			有效缝隙面积 A=0.14m^2
			上行：带速 v_b（m/s）下行：出力 V（t/h）						
			0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
			52	64	81	103	129	161	
90	10	14.01	97	120	152	193	242	302	3717
	11	14.69	102	126	159	203	254	317	3898
	12	15.34	107	131	166	212	265	331	4072
	13	15.97	111	137	173	220	276	344	4238
	14	16.57	115	142	180	228	286	357	4398
	15	17.16	119	147	186	236	296	370	4552
	16	17.72	123	152	192	244	306	382	4702
	17	18.26	127	156	198	252	315	394	4846
	18	18.79	131	161	204	259	324	405	4987
	19	19.31	134	165	209	266	333	416	5123
	20	19.81	138	170	215	273	342	427	5256

表 G-2　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=650mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=650mm，D=600mm			A_n/A_m=9.35			A=0.16m^2
			上行：v_b（m/s）下行：V（t/h）						
			0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
			94	118	147	188	235	294	
55	2	4.77	59	74	93	118	148	185	1447
	3	5.84	72	91	113	145	181	227	1772
	4	6.75	84	105	131	167	209	262	2046
	5	7.54	94	117	146	187	234	293	2287
	6	8.26	103	129	160	205	256	321	2506
	7	8.92	111	139	173	221	277	346	2706
	8	9.54	118	149	185	237	296	370	2893
	9	10.12	126	158	196	251	314	393	3069
	10	10.67	132	166	207	265	331	414	3235
	11	11.19	139	174	217	278	347	434	3393
	12	11.68	145	182	227	290	362	453	3543
	13	12.16	151	189	236	302	377	472	3688
	14	12.62	157	197	245	313	391	490	3827
	15	13.06	162	203	253	324	405	507	3962
	16	13.49	167	210	262	335	419	524	4092
	17	13.91	173	217	270	345	431	540	4218
	18	14.31	178	223	278	355	444	555	4340
	19	14.70	182	229	285	365	456	571	4459
	20	15.08	187	235	293	374	468	585	4575

续表

α (°)	H (m)	v_m (m/s)	L_1 (m³/h)						L_2 (m³/h)
			B=650mm，D=600mm			A_n/A_m=9.35			A=0.16m²
			上行：v_b (m/s) 下行：V (t/h)						
			0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
			94	118	147	188	235	294	
60	2	5.06	63	79	98	126	157	197	1536
	3	6.20	77	97	120	154	192	241	1881
	4	7.16	89	112	139	178	222	278	2172
	5	8.01	99	125	155	199	248	311	2428
	6	8.77	109	137	170	218	272	340	2660
	7	9.47	118	148	184	235	294	368	2873
	8	10.13	126	158	197	251	314	393	3072
	9	10.74	133	167	208	267	333	417	3258
	10	11.32	141	176	220	281	351	439	3434
	11	11.88	147	185	230	295	368	461	3602
	12	12.40	154	193	241	308	385	481	3762
	13	12.91	160	201	251	320	401	501	3916
	14	13.40	166	209	260	333	416	520	4063
	15	13.87	172	216	269	344	430	538	4206
	16	14.32	178	223	278	355	444	556	4344
	17	14.76	183	230	286	366	458	573	4478
	18	15.19	189	237	295	377	471	590	4607
	19	15.61	194	243	303	387	484	606	4734
	20	16.01	199	249	311	397	497	621	4857
65	2	5.32	66	83	103	132	165	206	1612
	3	6.51	81	101	126	162	202	253	1975
	4	7.52	93	117	146	187	233	292	2280
	5	8.41	104	131	163	209	261	326	2549
	6	9.21	114	143	179	229	286	357	2792
	7	9.95	123	155	193	247	309	386	3016
	8	10.63	132	166	206	264	330	413	3224
	9	11.28	140	176	219	280	350	438	3420
	10	11.89	147	185	231	295	369	461	3605
	11	12.47	155	194	242	309	387	484	3781
	12	13.02	162	203	253	323	404	505	3949
	13	13.55	168	211	263	336	420	526	4110
	14	14.07	175	219	273	349	436	546	4265
	15	14.56	181	227	282	361	452	565	4415
	16	15.04	187	234	292	373	466	584	4560
	17	15.50	192	241	301	385	481	601	4700
	18	15.95	198	248	309	396	495	619	4837

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=650mm，D=600mm			A_n/A_m=9.35			A=0.16m^2
			上行：v_b（m/s）下行：V（t/h）						
			0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
			94	118	147	188	235	294	
65	19	16.39	203	255	318	407	508	636	4969
	20	16.81	209	262	326	417	521	652	5098
90	2	6.26	78	98	122	155	194	243	1900
	3	7.67	95	119	149	190	238	298	2327
	4	8.86	110	138	172	220	275	344	2687
	5	9.90	123	154	192	246	307	384	3004
	6	10.85	135	169	211	269	337	421	3290
	7	11.72	145	183	227	291	364	455	3554
	8	12.53	155	195	243	311	389	486	3799
	9	13.29	165	207	258	330	412	516	4030
	10	14.01	174	218	272	348	435	544	4248
	11	14.69	182	229	285	365	456	570	4455
	12	15.34	190	239	298	381	476	595	4653
	13	15.97	198	249	310	396	495	620	4843
	14	16.57	206	258	322	411	514	643	5026
	15	17.16	213	267	333	426	532	666	5203
	16	17.72	220	276	344	440	550	688	5373
	17	18.26	227	284	354	453	567	709	5539
	18	18.79	233	293	365	466	583	729	5699
	19	19.31	240	301	375	479	599	749	5855
	20	19.81	246	309	384	492	614	769	6007

表 G-3　　**运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=800mm）**

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=800mm，D=700mm			A_n/A_m=8.15			A=0.19m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.25	1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	
			230	294	368	460	515	579	
55	2	4.77	126	161	202	252	283	318	1718
	3	5.84	155	198	247	309	346	389	2104
	4	6.75	179	228	286	357	400	449	2429
	5	7.54	200	255	319	399	447	502	2716
	6	8.26	219	279	350	437	490	550	2975
	7	8.92	236	302	378	472	529	595	3214
	8	9.54	252	323	404	505	565	636	3436
	9	10.12	268	342	428	536	600	674	3644

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=800mm，D=700mm			A_n/A_m=8.15			A=0.19m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.25	1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	
			230	294	368	460	515	579	
55	10	10.67	282	361	452	565	632	711	3841
	11	11.19	296	378	474	592	663	745	4029
	12	11.68	309	395	495	618	692	778	4208
	13	12.16	322	411	515	644	721	810	4380
	14	12.62	334	427	534	668	748	841	4545
	15	13.06	346	442	553	691	774	870	4705
	16	13.49	357	456	571	714	799	899	4859
	17	13.91	368	470	589	736	824	926	5008
	18	14.31	379	484	606	757	848	953	5154
	19	14.70	389	497	623	778	871	979	5295
	20	15.08	399	510	639	798	894	1005	5432
60	2	5.06	134	171	214	268	300	337	1824
	3	6.20	164	210	263	328	368	413	2234
	4	7.16	190	242	303	379	424	477	2579
	5	8.01	212	271	339	424	474	533	2884
	6	8.77	232	297	371	464	520	584	3159
	7	9.47	251	320	401	501	561	631	3412
	8	10.13	268	343	429	536	600	675	3648
	9	10.74	284	363	455	569	637	716	3869
	10	11.32	300	383	479	599	671	754	4078
	11	11.88	314	402	503	629	704	791	4277
	12	12.40	328	420	525	657	735	826	4467
	13	12.91	342	437	547	683	765	860	4650
	14	13.40	355	453	567	709	794	893	4825
	15	13.87	367	469	587	734	822	924	4995
	16	14.32	379	485	606	758	849	954	5158
	17	14.76	391	499	625	781	875	984	5317
	18	15.19	402	514	643	804	900	1012	5471
	19	15.61	413	528	661	826	925	1040	5621
	20	16.01	424	542	678	848	949	1067	5767
65	2	5.32	141	180	225	281	315	354	1914
	3	6.51	172	220	276	345	386	434	2345
	4	7.52	199	254	318	398	445	501	2707
	5	8.41	222	284	356	445	498	560	3027
	6	9.21	244	311	390	487	546	613	3316
	7	9.95	263	336	421	526	589	663	3582

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=800mm，D=700mm			A_n/A_m=8.15			A=0.19m^2
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			1.25	1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	
			230	294	368	460	515	579	
65	8	10.63	281	360	450	563	630	708	3829
	9	11.28	298	381	477	597	668	751	4061
	10	11.89	315	402	503	629	704	792	4281
	11	12.47	330	422	528	660	739	831	4490
	12	13.02	345	440	551	689	772	868	4689
	13	13.55	359	458	574	717	803	903	4881
	14	14.07	372	476	596	744	833	937	5065
	15	14.56	385	492	616	771	863	970	5243
	16	15.04	398	509	637	796	891	1002	5415
	17	15.50	410	524	656	820	918	1033	5582
	18	15.95	422	539	675	844	945	1062	5743
	19	16.39	434	554	694	867	971	1092	5901
	20	16.81	445	569	712	890	996	1120	6054
90	2	6.26	166	212	265	332	371	417	2256
	3	7.67	203	260	325	406	455	511	2763
	4	8.86	234	300	375	469	525	590	3190
	5	9.90	262	335	419	524	587	660	3567
	6	10.85	287	367	459	574	643	723	3907
	7	11.72	310	396	496	620	694	781	4220
	8	12.53	332	424	530	663	742	835	4512
	9	13.29	352	450	563	703	787	885	4785
	10	14.01	371	474	593	741	830	933	5044
	11	14.69	389	497	622	778	871	979	5291
	12	15.34	406	519	650	812	909	1022	5526
	13	15.97	423	540	676	845	946	1064	5751
	14	16.57	439	561	702	877	982	1104	5969
	15	17.16	454	580	726	908	1017	1143	6178
	16	17.72	469	599	750	938	1050	1180	6381
	17	18.26	483	618	773	967	1082	1217	6577
	18	18.79	497	636	796	995	1114	1252	6768
	19	19.31	511	653	818	1022	1144	1286	6953
	20	19.81	524	670	839	1048	1174	1320	7134

表 G-4　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=1000mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1000mm，D=800mm			A_n/A_m=6.53			A=0.22m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			480	600	750	840	945	1050	
55	2	4.77	211	264	330	369	416	462	1989
	3	5.84	259	323	404	452	509	566	2436
	4	6.75	299	373	466	522	588	653	2813
	5	7.54	334	417	521	584	657	730	3145
	6	8.26	366	457	571	640	720	800	3445
	7	8.92	395	494	617	691	777	864	3721
	8	9.54	422	528	660	739	831	923	3978
	9	10.12	448	560	700	784	882	979	4220
	10	10.67	472	590	737	826	929	1032	4448
	11	11.19	495	619	773	866	975	1083	4665
	12	11.68	517	646	808	905	1018	1131	4872
	13	12.16	538	673	841	942	1059	1177	5071
	14	12.62	558	698	873	977	1099	1222	5263
	15	13.06	578	723	903	1012	1138	1265	5447
	16	13.49	597	746	933	1045	1175	1306	5626
	17	13.91	615	769	962	1077	1212	1346	5799
	18	14.31	633	792	989	1108	1247	1385	5967
	19	14.70	651	813	1017	1139	1281	1423	6131
	20	15.08	667	834	1043	1168	1314	1460	6290
60	2	5.06	224	280	350	392	441	490	2112
	3	6.20	274	343	429	480	540	600	2586
	4	7.16	317	396	495	555	624	693	2986
	5	8.01	354	443	554	620	698	775	3339
	6	8.77	388	485	606	679	764	849	3658
	7	9.47	419	524	655	734	825	917	3951
	8	10.13	448	560	700	784	882	980	4223
	9	10.74	475	594	743	832	936	1040	4480
	10	11.32	501	626	783	877	987	1096	4722
	11	11.88	526	657	821	920	1035	1150	4952
	12	12.40	549	686	858	961	1081	1201	5173
	13	12.91	571	714	893	1000	1125	1250	5384
	14	13.40	593	741	926	1038	1167	1297	5587
	15	13.87	614	767	959	1074	1208	1342	5783
	16	14.32	634	792	990	1109	1248	1387	5973
	17	14.76	653	817	1021	1143	1286	1429	6157
	18	15.19	672	840	1050	1177	1324	1471	6335

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1000mm，D=800mm			A_n/A_m=6.53			A=0.22m^2
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			480	600	750	840	945	1050	
60	19	15.61	691	863	1079	1209	1360	1511	6509
	20	16.01	709	886	1107	1240	1395	1550	6678
65	2	5.32	235	294	368	412	463	515	2217
	3	6.51	288	360	450	504	567	630	2715
	4	7.52	333	416	520	582	655	728	3135
	5	8.41	372	465	581	651	732	814	3505
	6	9.21	407	509	637	713	802	891	3840
	7	9.95	440	550	688	770	866	963	4147
	8	10.63	470	588	735	823	926	1029	4434
	9	11.28	499	624	780	873	982	1092	4702
	10	11.89	526	658	822	921	1036	1151	4957
	11	12.47	552	690	862	965	1086	1207	5199
	12	13.02	576	720	900	1008	1134	1260	5430
	13	13.55	600	750	937	1050	1181	1312	5652
	14	14.07	622	778	972	1089	1225	1361	5865
	15	14.56	644	805	1007	1127	1268	1409	6071
	16	15.04	665	832	1040	1164	1310	1455	6270
	17	15.50	686	857	1072	1200	1350	1500	6463
	18	15.95	706	882	1103	1235	1389	1544	6650
	19	16.39	725	906	1133	1269	1427	1586	6833
	20	16.81	744	930	1162	1302	1465	1627	7010
90	2	6.26	277	346	433	485	546	606	2612
	3	7.67	339	424	530	594	668	743	3199
	4	8.86	392	490	613	686	772	858	3694
	5	9.90	438	548	685	767	863	959	4130
	6	10.85	480	600	750	840	945	1050	4524
	7	11.72	519	648	810	908	1021	1134	4887
	8	12.53	554	693	866	970	1091	1213	5224
	9	13.29	588	735	919	1029	1158	1286	5541
	10	14.01	620	775	968	1085	1220	1356	5841
	11	14.69	650	813	1016	1138	1280	1422	6126
	12	15.34	679	849	1061	1188	1337	1485	6398
	13	15.97	707	883	1104	1237	1391	1546	6660
	14	16.57	733	917	1146	1283	1444	1604	6911
	15	17.16	759	949	1186	1328	1495	1661	7154
	16	17.72	784	980	1225	1372	1544	1715	7388

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1000mm，D=800mm			A_n/A_m=6.53			A=0.22m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			480	600	750	840	945	1050	
90	17	18.26	808	1010	1263	1414	1591	1768	7615
	18	18.79	832	1039	1299	1455	1637	1819	7836
	19	19.31	854	1068	1335	1495	1682	1869	8051
	20	19.81	877	1096	1370	1534	1726	1917	8260

表 G-5　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=1200mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1200mm，D=900mm			A_n/A_m=5.64			A=0.25m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			703	879	1099	1231	1385	1538	
55	2	4.77	267	334	417	468	526	584	2260
	3	5.84	327	409	511	573	644	715	2768
	4	6.75	378	472	590	661	744	826	3197
	5	7.54	422	528	660	739	832	924	3574
	6	8.26	462	578	723	810	911	1012	3915
	7	8.92	500	625	781	875	984	1093	4229
	8	9.54	534	668	835	935	1052	1168	4521
	9	10.12	566	708	885	992	1116	1239	4795
	10	10.67	597	747	933	1045	1176	1306	5054
	11	11.19	626	783	979	1097	1234	1370	5301
	12	11.68	654	818	1022	1145	1289	1431	5537
	13	12.16	681	851	1064	1192	1341	1489	5763
	14	12.62	706	883	1104	1237	1392	1546	5980
	15	13.06	731	914	1143	1280	1441	1600	6190
	16	13.49	755	944	1181	1322	1488	1652	6393
	17	13.91	778	973	1217	1363	1534	1703	6590
	18	14.31	801	1002	1252	1403	1578	1752	6781
	19	14.70	823	1029	1287	1441	1621	1800	6967
	20	15.08	844	1056	1320	1479	1664	1847	7148
60	2	5.06	283	354	443	496	558	620	2400
	3	6.20	347	434	543	608	684	760	2939
	4	7.16	401	501	627	702	790	877	3394
	5	8.01	448	560	701	785	883	981	3794
	6	8.77	491	614	768	860	967	1074	4156
	7	9.47	530	663	829	929	1045	1160	4489

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1200mm，D=900mm			A_n/A_m=5.64			A=0.25m^2
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			703	879	1099	1231	1385	1538	
60	8	10.13	567	709	886	993	1117	1240	4799
	9	10.74	601	752	940	1053	1185	1316	5091
	10	11.32	634	793	991	1110	1249	1387	5366
	11	11.88	665	831	1039	1164	1310	1454	5628
	12	12.40	694	868	1086	1216	1368	1519	5878
	13	12.91	723	904	1130	1266	1424	1581	6118
	14	13.40	750	938	1172	1313	1478	1641	6349
	15	13.87	776	971	1214	1359	1529	1698	6572
	16	14.32	802	1003	1253	1404	1580	1754	6787
	17	14.76	826	1033	1292	1447	1628	1808	6996
	18	15.19	850	1063	1329	1489	1675	1861	7199
	19	15.61	874	1092	1366	1530	1721	1912	7396
	20	16.01	896	1121	1401	1570	1766	1961	7589
65	2	5.32	298	372	465	521	586	651	2519
	3	6.51	364	456	570	638	718	797	3085
	4	7.52	421	526	658	737	829	921	3562
	5	8.41	471	588	736	824	927	1029	3983
	6	9.21	515	644	806	903	1015	1128	4363
	7	9.95	557	696	870	975	1097	1218	4713
	8	10.63	595	744	930	1042	1173	1302	5038
	9	11.28	631	789	987	1105	1244	1381	5344
	10	11.89	665	832	1040	1165	1311	1456	5633
	11	12.47	698	873	1091	1222	1375	1527	5908
	12	13.02	729	911	1139	1276	1436	1595	6170
	13	13.55	759	949	1186	1328	1495	1660	6422
	14	14.07	787	984	1231	1379	1551	1722	6665
	15	14.56	815	1019	1274	1427	1606	1783	6899
	16	15.04	842	1052	1316	1474	1658	1841	7125
	17	15.50	868	1085	1356	1519	1709	1898	7344
	18	15.95	893	1116	1396	1563	1759	1953	7557
	19	16.39	917	1147	1434	1606	1807	2007	7764
	20	16.81	941	1177	1471	1648	1854	2059	7966
90	2	6.26	351	438	548	614	691	767	2968
	3	7.67	429	537	671	752	846	940	3635
	4	8.86	496	620	775	868	977	1085	4198
	5	9.90	554	693	867	971	1092	1213	4693

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1200mm，D=900mm			A_n/A_m=5.64			A=0.25m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			703	879	1099	1231	1385	1538	
90	6	10.85	607	759	949	1063	1197	1329	5141
	7	11.72	656	820	1026	1149	1292	1435	5553
	8	12.53	701	877	1096	1228	1382	1534	5937
	9	13.29	744	930	1163	1302	1465	1627	6297
	10	14.01	784	980	1226	1373	1545	1715	6637
	11	14.69	822	1028	1286	1440	1620	1799	6961
	12	15.34	859	1074	1343	1504	1692	1879	7271
	13	15.97	894	1118	1398	1565	1761	1956	7568
	14	16.57	928	1160	1450	1624	1828	2030	7853
	15	17.16	960	1201	1501	1681	1892	2101	8129
	16	17.72	992	1240	1550	1737	1954	2170	8396
	17	18.26	1022	1278	1598	1790	2014	2237	8654
	18	18.79	1052	1315	1644	1842	2072	2301	8905
	19	19.31	1081	1351	1690	1892	2129	2364	9149
	20	19.81	1109	1386	1733	1942	2185	2426	9387

表 G-6　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=1400mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1400mm，D=1000mm			A_n/A_m=5.01			A=0.28m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			977	1221	1527	1710	1924	2137	
55	2	4.77	330	412	515	577	649	721	2532
	3	5.84	404	505	631	707	795	883	3101
	4	6.75	466	583	729	816	918	1020	3580
	5	7.54	521	651	815	912	1026	1140	4003
	6	8.26	571	714	892	999	1124	1249	4385
	7	8.92	617	771	964	1079	1214	1349	4736
	8	9.54	659	824	1030	1154	1298	1442	5063
	9	10.12	699	874	1093	1224	1377	1529	5370
	10	10.67	737	921	1152	1290	1452	1612	5661
	11	11.19	773	966	1208	1353	1522	1691	5937
	12	11.68	807	1009	1262	1413	1590	1766	6201
	13	12.16	840	1050	1313	1471	1655	1838	6454
	14	12.62	872	1090	1363	1526	1717	1908	6698
	15	13.06	903	1128	1411	1580	1778	1975	6933

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1400mm，D=1000mm			A_n/A_m=5.01			A=0.28m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			977	1221	1527	1710	1924	2137	
55	16	13.49	932	1165	1457	1632	1836	2039	7160
	17	13.91	961	1201	1502	1682	1893	2102	7381
	18	14.31	989	1236	1546	1731	1947	2163	7595
	19	14.70	1016	1270	1588	1778	2001	2222	7803
	20	15.08	1042	1303	1629	1824	2053	2280	8006
60	2	5.06	350	437	547	613	689	765	2688
	3	6.20	429	536	670	750	844	937	3292
	4	7.16	495	619	774	866	975	1083	3801
	5	8.01	553	692	865	968	1090	1210	4250
	6	8.77	606	758	947	1061	1194	1326	4655
	7	9.47	655	818	1023	1146	1289	1432	5028
	8	10.13	700	875	1094	1225	1378	1531	5375
	9	10.74	742	928	1160	1299	1462	1624	5701
	10	11.32	783	978	1223	1370	1541	1712	6010
	11	11.88	821	1026	1283	1436	1616	1795	6303
	12	12.40	857	1071	1340	1500	1688	1875	6583
	13	12.91	892	1115	1394	1562	1757	1952	6852
	14	13.40	926	1157	1447	1621	1823	2025	7111
	15	13.87	958	1198	1498	1677	1887	2096	7360
	16	14.32	990	1237	1547	1732	1949	2165	7602
	17	14.76	1020	1275	1595	1786	2009	2232	7836
	18	15.19	1050	1312	1641	1838	2067	2296	8063
	19	15.61	1079	1348	1686	1888	2124	2359	8284
	20	16.01	1107	1383	1730	1937	2179	2421	8499
65	2	5.32	367	459	574	643	723	804	2821
	3	6.51	450	562	703	787	886	984	3455
	4	7.52	520	649	812	909	1023	1136	3990
	5	8.41	581	726	908	1017	1144	1270	4461
	6	9.21	636	795	994	1114	1253	1392	4887
	7	9.95	687	859	1074	1203	1353	1503	5278
	8	10.63	735	918	1148	1286	1447	1607	5643
	9	11.28	779	974	1218	1364	1535	1705	5985
	10	11.89	821	1027	1284	1438	1618	1797	6309
	11	12.47	862	1077	1347	1508	1697	1884	6617
	12	13.02	900	1125	1406	1575	1772	1968	6911
	13	13.55	937	1170	1464	1639	1844	2049	7193

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1400mm，D=1000mm			A_n/A_m=5.01			A=0.28m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			1.6	2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	
			977	1221	1527	1710	1924	2137	
65	14	14.07	972	1215	1519	1701	1914	2126	7465
	15	14.56	1006	1257	1572	1761	1981	2201	7727
	16	15.04	1039	1299	1624	1819	2046	2273	7980
	17	15.50	1071	1339	1674	1875	2109	2343	8226
	18	15.95	1102	1377	1722	1929	2170	2411	8464
	19	16.39	1132	1415	1770	1982	2230	2477	8696
	20	16.81	1162	1452	1816	2033	2288	2541	8922
90	2	6.26	433	541	677	758	852	947	3324
	3	7.67	530	663	829	928	1044	1160	4072
	4	8.86	612	765	957	1071	1206	1339	4702
	5	9.90	684	855	1070	1198	1348	1497	5256
	6	10.85	750	937	1172	1312	1476	1640	5758
	7	11.72	810	1012	1266	1417	1595	1771	6220
	8	12.53	866	1082	1353	1515	1705	1894	6649
	9	13.29	918	1148	1435	1607	1808	2009	7052
	10	14.01	968	1210	1513	1694	1906	2117	7434
	11	14.69	1015	1269	1587	1777	1999	2220	7797
	12	15.34	1060	1325	1657	1856	2088	2319	8143
	13	15.97	1104	1379	1725	1932	2173	2414	8476
	14	16.57	1145	1431	1790	2005	2255	2505	8796
	15	17.16	1185	1482	1853	2075	2335	2593	9104
	16	17.72	1224	1530	1914	2143	2411	2678	9403
	17	18.26	1262	1577	1972	2209	2485	2760	9692
	18	18.79	1299	1623	2030	2273	2557	2840	9973
	19	19.31	1334	1667	2085	2335	2627	2918	10247
	20	19.81	1369	1711	2139	2396	2696	2994	10513

表 G-7　　　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=1600mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1600mm，D=1100mm			A_n/A_m=4.58			A=0.32m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			1616	2021	2263	2546	2829	3233	
55	2	4.77	498	623	698	785	873	997	2893
	3	5.84	610	763	855	962	1069	1221	3543
	4	6.75	705	882	987	1111	1234	1410	4092

续表

α (°)	H (m)	v_m (m/s)	L_1 (m³/h)						L_2 (m³/h)
			B=1600mm，D=1100mm			A_n/A_m=4.58			$A=0.32m^2$
			上行：v_b (m/s)　下行：V (t/h)						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			1616	2021	2263	2546	2829	3233	
55	5	7.54	788	986	1104	1242	1380	1577	4575
	6	8.26	863	1080	1209	1360	1511	1727	5011
	7	8.92	932	1166	1306	1469	1632	1866	5413
	8	9.54	997	1247	1396	1571	1745	1994	5786
	9	10.12	1057	1322	1481	1666	1851	2115	6137
	10	10.67	1115	1394	1561	1756	1951	2230	6469
	11	11.19	1169	1462	1637	1842	2046	2339	6785
	12	11.68	1221	1527	1710	1924	2137	2443	7087
	13	12.16	1271	1589	1780	2002	2225	2542	7376
	14	12.62	1319	1649	1847	2078	2309	2638	7655
	15	13.06	1365	1707	1912	2151	2390	2731	7923
	16	13.49	1410	1763	1974	2221	2468	2820	8183
	17	13.91	1453	1817	2035	2289	2544	2907	8435
	18	14.31	1495	1870	2094	2356	2618	2991	8680
	19	14.70	1536	1921	2151	2420	2689	3073	8918
	20	15.08	1576	1971	2207	2483	2759	3153	9149
60	2	5.06	529	662	741	834	926	1059	3072
	3	6.20	648	811	908	1021	1135	1297	3762
	4	7.16	748	936	1048	1179	1310	1497	4344
	5	8.01	837	1046	1172	1318	1465	1674	4857
	6	8.77	917	1146	1283	1444	1604	1834	5320
	7	9.47	990	1238	1386	1560	1733	1981	5746
	8	10.13	1058	1324	1482	1667	1853	2117	6143
	9	10.74	1123	1404	1572	1769	1965	2246	6516
	10	11.32	1183	1480	1657	1864	2071	2367	6868
	11	11.88	1241	1552	1738	1955	2172	2483	7204
	12	12.40	1296	1621	1815	2042	2269	2593	7524
	13	12.91	1349	1687	1889	2125	2362	2699	7831
	14	13.40	1400	1751	1961	2206	2451	2801	8127
	15	13.87	1449	1812	2029	2283	2537	2899	8412
	16	14.32	1497	1872	2096	2358	2620	2994	8688
	17	14.76	1543	1929	2160	2431	2701	3086	8955
	18	15.19	1587	1985	2223	2501	2779	3176	9215
	19	15.61	1631	2040	2284	2570	2855	3263	9467
	20	16.01	1673	2093	2343	2636	2929	3348	9713

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1600mm，D=1100mm			A_n/A_m=4.58			A=0.32m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			1616	2021	2263	2546	2829	3233	
65	2	5.32	555	695	778	875	972	1111	3224
	3	6.51	680	851	953	1072	1191	1361	3949
	4	7.52	786	982	1100	1238	1375	1572	4560
	5	8.41	878	1098	1230	1384	1538	1757	5098
	6	9.21	962	1203	1347	1516	1684	1925	5585
	7	9.95	1039	1300	1455	1637	1819	2079	6032
	8	10.63	1111	1389	1556	1750	1945	2223	6449
	9	11.28	1178	1474	1650	1856	2063	2357	6840
	10	11.89	1242	1553	1739	1957	2174	2485	7210
	11	12.47	1303	1629	1824	2052	2281	2606	7562
	12	13.02	1361	1702	1905	2144	2382	2722	7898
	13	13.55	1416	1771	1983	2231	2479	2833	8221
	14	14.07	1470	1838	2058	2315	2573	2940	8531
	15	14.56	1521	1902	2130	2397	2663	3043	8830
	16	15.04	1571	1965	2200	2475	2750	3143	9120
	17	15.50	1619	2025	2268	2551	2835	3240	9401
	18	15.95	1666	2084	2334	2625	2917	3334	9673
	19	16.39	1712	2141	2398	2697	2997	3425	9938
	20	16.81	1757	2197	2460	2767	3075	3514	10196
90	2	6.26	655	819	917	1031	1146	1309	3799
	3	7.67	802	1003	1123	1263	1403	1604	4653
	4	8.86	926	1158	1296	1458	1620	1852	5373
	5	9.90	1035	1294	1449	1630	1812	2070	6007
	6	10.85	1134	1418	1588	1786	1985	2268	6581
	7	11.72	1225	1531	1715	1929	2144	2450	7108
	8	12.53	1309	1637	1833	2062	2292	2619	7599
	9	13.29	1388	1736	1944	2188	2431	2778	8060
	10	14.01	1464	1830	2050	2306	2562	2928	8496
	11	14.69	1535	1920	2150	2418	2687	3071	8910
	12	15.34	1603	2005	2245	2526	2807	3208	9307
	13	15.97	1669	2087	2337	2629	2921	3339	9687
	14	16.57	1732	2166	2425	2728	3032	3465	10052
	15	17.16	1793	2242	2510	2824	3138	3586	10405
	16	17.72	1851	2315	2593	2917	3241	3704	10746
	17	18.26	1908	2387	2672	3006	3341	3818	11077
	18	18.79	1964	2456	2750	3094	3438	3928	11398
	19	19.31	2017	2523	2825	3178	3532	4036	11711
	20	19.81	2070	2589	2899	3261	3623	4141	12015

表 G-8　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=1800mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=1800mm，D=1200mm			A_n/A_m=4.26			A=0.35m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			2067	2584	2894	3255	3617	4134	
55	2	4.77	593	741	830	934	1038	1186	3164
	3	5.84	726	908	1017	1144	1271	1453	3876
	4	6.75	839	1048	1174	1321	1467	1677	4475
	5	7.54	938	1172	1313	1476	1641	1875	5003
	6	8.26	1027	1284	1438	1617	1797	2054	5481
	7	8.92	1109	1387	1553	1747	1941	2219	5920
	8	9.54	1186	1483	1660	1868	2075	2372	6329
	9	10.12	1258	1573	1761	1981	2201	2516	6713
	10	10.67	1326	1658	1856	2088	2320	2652	7076
	11	11.19	1391	1739	1947	2190	2434	2781	7421
	12	11.68	1453	1816	2034	2287	2542	2905	7751
	13	12.16	1512	1890	2117	2381	2646	3024	8068
	14	12.62	1569	1961	2197	2471	2745	3138	8372
	15	13.06	1624	2030	2274	2557	2842	3248	8666
	16	13.49	1677	2097	2348	2641	2935	3354	8950
	17	13.91	1729	2161	2421	2722	3025	3458	9226
	18	14.31	1779	2224	2491	2801	3113	3558	9493
	19	14.70	1828	2285	2559	2878	3198	3655	9754
	20	15.08	1875	2344	2625	2953	3281	3750	10007
60	2	5.06	630	787	881	991	1102	1259	3360
	3	6.20	771	964	1080	1214	1349	1542	4115
	4	7.16	890	1113	1247	1402	1558	1781	4751
	5	8.01	995	1244	1394	1568	1742	1991	5312
	6	8.77	1090	1363	1527	1717	1908	2181	5819
	7	9.47	1178	1472	1649	1855	2061	2356	6285
	8	10.13	1259	1574	1763	1983	2203	2518	6719
	9	10.74	1335	1670	1870	2103	2337	2671	7127
	10	11.32	1408	1760	1971	2217	2463	2815	7512
	11	11.88	1476	1846	2067	2325	2584	2953	7879
	12	12.40	1542	1928	2159	2428	2698	3084	8229
	13	12.91	1605	2006	2247	2528	2809	3210	8565
	14	13.40	1666	2082	2332	2623	2915	3331	8889
	15	13.87	1724	2155	2414	2715	3017	3448	9201
	16	14.32	1781	2226	2493	2804	3116	3561	9502
	17	14.76	1835	2295	2570	2890	3212	3671	9795
	18	15.19	1889	2361	2644	2974	3305	3777	10079

续表

α (°)	H (m)	v_m (m/s)	L_1 (m³/h)						L_2 (m³/h)
			B=1800mm，D=1200mm			A_n/A_m=4.26			A=0.35m²
			上行：v_b (m/s)　下行：V (t/h)						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			2067	2584	2894	3255	3617	4134	
60	19	15.61	1940	2426	2717	3056	3395	3881	10355
	20	16.01	1991	2489	2787	3135	3484	3982	10624
65	2	5.32	661	826	925	1041	1156	1322	3527
	3	6.51	809	1012	1133	1275	1416	1619	4319
	4	7.52	935	1168	1309	1472	1635	1869	4987
	5	8.41	1045	1306	1463	1645	1828	2090	5576
	6	9.21	1145	1431	1603	1803	2003	2289	6108
	7	9.95	1236	1546	1731	1947	2163	2473	6598
	8	10.63	1322	1652	1851	2081	2313	2643	7053
	9	11.28	1402	1753	1963	2208	2453	2804	7481
	10	11.89	1478	1847	2069	2327	2586	2955	7886
	11	12.47	1550	1937	2170	2441	2712	3100	8271
	12	13.02	1619	2024	2266	2549	2833	3238	8639
	13	13.55	1685	2106	2359	2653	2948	3370	8991
	14	14.07	1748	2186	2448	2753	3060	3497	9331
	15	14.56	1810	2263	2534	2850	3167	3620	9658
	16	15.04	1869	2337	2617	2943	3271	3738	9975
	17	15.50	1927	2409	2698	3034	3372	3853	10282
	18	15.95	1983	2478	2776	3122	3469	3965	10580
	19	16.39	2037	2546	2852	3208	3564	4074	10870
	20	16.81	2090	2613	2926	3291	3657	4180	11152
90	2	6.26	779	973	1090	1226	1363	1557	4156
	3	7.67	954	1192	1335	1502	1669	1907	5090
	4	8.86	1101	1377	1542	1734	1927	2203	5877
	5	9.90	1231	1539	1724	1939	2155	2463	6571
	6	10.85	1349	1686	1888	2124	2360	2698	7198
	7	11.72	1457	1821	2040	2294	2549	2914	7774
	8	12.53	1557	1947	2181	2453	2725	3115	8311
	9	13.29	1652	2065	2313	2601	2891	3304	8815
	10	14.01	1741	2177	2438	2742	3047	3483	9292
	11	14.69	1826	2283	2557	2876	3196	3652	9746
	12	15.34	1907	2385	2671	3004	3338	3815	10179
	13	15.97	1985	2482	2780	3126	3474	3971	10595
	14	16.57	2060	2576	2885	3244	3605	4121	10995
	15	17.16	2133	2666	2986	3358	3732	4265	11381
	16	17.72	2203	2753	3084	3468	3854	4405	11754

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m³/h）						L_2（m³/h）
			B=1800mm，D=1200mm			A_n/A_m=4.26			A=0.35m²
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			2067	2584	2894	3255	3617	4134	
90	17	18.26	2270	2838	3179	3575	3973	4541	12116
	18	18.79	2336	2920	3271	3679	4088	4672	12467
	19	19.31	2400	3000	3360	3780	4200	4800	12808
	20	19.81	2463	3078	3448	3878	4309	4925	13141

表 G-9　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=2000mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m³/h）						L_2（m³/h）
			B=2000mm，D=1300mm			A_n/A_m=4.03			A=0.4m²
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			2566	3207	3592	4041	4490	5133	
55	2	4.77	696	870	975	1097	1219	1393	3617
	3	5.84	853	1066	1194	1343	1492	1706	4429
	4	6.75	985	1231	1379	1551	1723	1970	5115
	5	7.54	1101	1376	1541	1734	1927	2203	5718
	6	8.26	1206	1508	1688	1900	2111	2413	6264
	7	8.92	1303	1628	1824	2052	2280	2606	6766
	8	9.54	1393	1741	1950	2193	2437	2786	7233
	9	10.12	1477	1846	2068	2326	2585	2955	7672
	10	10.67	1557	1946	2180	2452	2725	3115	8087
	11	11.19	1633	2041	2286	2572	2858	3267	8482
	12	11.68	1706	2132	2388	2686	2985	3412	8859
	13	12.16	1775	2219	2485	2796	3107	3552	9220
	14	12.62	1842	2303	2579	2902	3224	3686	9568
	15	13.06	1907	2384	2670	3003	3337	3815	9904
	16	13.49	1970	2462	2757	3102	3447	3940	10229
	17	13.91	2030	2538	2842	3197	3553	4061	10544
	18	14.31	2089	2611	2925	3290	3656	4179	10850
	19	14.70	2146	2683	3005	3380	3756	4294	11147
	20	15.08	2202	2752	3083	3468	3853	4405	11436
60	2	5.06	739	924	1035	1164	1294	1479	3840
	3	6.20	905	1132	1268	1426	1584	1811	4702
	4	7.16	1046	1307	1464	1647	1830	2092	5430
	5	8.01	1169	1461	1636	1841	2046	2338	6071
	6	8.77	1281	1600	1793	2017	2241	2562	6650
	7	9.47	1383	1729	1936	2178	2420	2767	7183

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=2000mm，D=1300mm			A_n/A_m=4.03			A=0.4m^2
			上行：v_b（m/s）　下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			2566	3207	3592	4041	4490	5133	
60	8	10.13	1479	1848	2070	2329	2587	2958	7679
	9	10.74	1568	1960	2195	2470	2744	3137	8145
	10	11.32	1653	2066	2314	2604	2893	3307	8585
	11	11.88	1734	2167	2427	2731	3034	3468	9004
	12	12.40	1811	2263	2535	2852	3169	3623	9405
	13	12.91	1885	2356	2639	2968	3298	3771	9789
	14	13.40	1956	2445	2738	3081	3423	3913	10158
	15	13.87	2025	2531	2834	3189	3543	4050	10515
	16	14.32	2091	2614	2927	3293	3659	4183	10860
	17	14.76	2156	2694	3017	3395	3772	4312	11194
	18	15.19	2218	2772	3105	3493	3881	4437	11519
	19	15.61	2279	2848	3190	3589	3987	4558	11834
	20	16.01	2338	2922	3273	3682	4091	4677	12142
65	2	5.32	776	970	1086	1222	1358	1553	4030
	3	6.51	951	1188	1331	1497	1663	1901	4936
	4	7.52	1098	1372	1536	1728	1921	2196	5700
	5	8.41	1227	1534	1718	1933	2147	2455	6373
	6	9.21	1344	1680	1882	2117	2352	2689	6981
	7	9.95	1452	1815	2033	2287	2541	2904	7540
	8	10.63	1552	1940	2173	2444	2716	3105	8061
	9	11.28	1646	2058	2305	2593	2881	3293	8550
	10	11.89	1735	2169	2429	2733	3037	3472	9012
	11	12.47	1820	2275	2548	2866	3185	3641	9452
	12	13.02	1901	2376	2661	2994	3326	3803	9873
	13	13.55	1979	2473	2770	3116	3462	3958	10276
	14	14.07	2053	2566	2874	3234	3593	4108	10664
	15	14.56	2125	2656	2975	3347	3719	4252	11038
	16	15.04	2195	2744	3073	3457	3841	4391	11400
	17	15.50	2263	2828	3167	3563	3959	4526	11751
	18	15.95	2328	2910	3259	3667	4074	4658	12091
	19	16.39	2392	2990	3349	3767	4186	4785	12423
	20	16.81	2454	3067	3436	3865	4294	4909	12745
90	2	6.26	915	1143	1280	1440	1600	1829	4749
	3	7.67	1120	1400	1568	1764	1960	2241	5817
	4	8.86	1293	1616	1810	2037	2263	2587	6716
	5	9.90	1446	1807	2024	2277	2530	2892	7509

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=2000mm，D=1300mm			A_n/A_m=4.03			$A=0.4m^2$
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.0	2.5	2.8	3.15	3.5	4	
			2566	3207	3592	4041	4490	5133	
90	6	10.85	1584	1980	2217	2494	2772	3169	8226
	7	11.72	1711	2138	2395	2694	2994	3422	8885
	8	12.53	1829	2286	2560	2880	3200	3659	9499
	9	13.29	1940	2425	2716	3055	3395	3881	10075
	10	14.01	2045	2556	2863	3220	3578	4091	10620
	11	14.69	2145	2680	3002	3378	3753	4290	11138
	12	15.34	2240	2800	3136	3528	3920	4481	11633
	13	15.97	2332	2914	3264	3672	4080	4664	12108
	14	16.57	2420	3024	3387	3810	4234	4840	12565
	15	17.16	2504	3130	3506	3944	4382	5010	13006
	16	17.72	2587	3233	3621	4073	4526	5174	13433
	17	18.26	2666	3332	3732	4199	4665	5334	13846
	18	18.79	2744	3429	3841	4321	4801	5488	14248
	19	19.31	2819	3523	3946	4439	4932	5639	14638
	20	19.81	2892	3614	4048	4554	5060	5785	15018

表 G-10　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=2200mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=2200mm，D=1400mm			A_n/A_m=3.73			$A=0.42m^2$
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.8	3.15	3.5	4	5	6.5	
			4497	5059	5621	6424	8031	10440	
55	2	4.77	1130	1271	1412	1614	2017	2622	3797
	3	5.84	1383	1556	1729	1976	2471	3212	4651
	4	6.75	1598	1797	1997	2282	2853	3709	5370
	5	7.54	1786	2009	2232	2551	3190	4146	6004
	6	8.26	1957	2201	2446	2795	3494	4542	6577
	7	8.92	2113	2377	2642	3019	3774	4906	7104
	8	9.54	2259	2542	2824	3227	4035	5245	7595
	9	10.12	2396	2696	2995	3423	4279	5563	8055
	10	10.67	2526	2842	3157	3608	4511	5864	8491
	11	11.19	2649	2980	3311	3784	4731	6150	8906
	12	11.68	2767	3113	3459	3953	4941	6424	9302
	13	12.16	2880	3240	3600	4114	5143	6686	9681
	14	12.62	2989	3362	3736	4269	5337	6938	10047
	15	13.06	3094	3480	3867	4419	5525	7182	10400

续表

α (°)	H (m)	v_m (m/s)	L_1 (m^3/h)						L_2 (m^3/h)
			B=2200mm，D=1400mm			A_n/A_m=3.73			A=0.42m^2
			上行：v_b (m/s)　下行：V (t/h)						
			2.8	3.15	3.5	4	5	6.5	
			4497	5059	5621	6424	8031	10440	
55	16	13.49	3195	3594	3994	4564	5706	7417	10741
	17	13.91	3293	3705	4116	4705	5881	7646	11071
	18	14.31	3389	3812	4236	4841	6052	7867	11392
	19	14.70	3482	3917	4352	4974	6218	8083	11704
	20	15.08	3572	4019	4465	5103	6379	8293	12008
60	2	5.06	1199	1349	1499	1713	2142	2784	4032
	3	6.20	1469	1652	1836	2098	2623	3410	4938
	4	7.16	1696	1908	2120	2423	3029	3937	5701
	5	8.01	1896	2133	2370	2709	3386	4402	6374
	6	8.77	2077	2337	2596	2967	3710	4822	6983
	7	9.47	2244	2524	2804	3205	4007	5209	7542
	8	10.13	2399	2698	2998	3426	4283	5568	8063
	9	10.74	2544	2862	3180	3634	4543	5906	8552
	10	11.32	2682	3017	3352	3831	4789	6225	9015
	11	11.88	2812	3164	3515	4018	5023	6529	9455
	12	12.40	2938	3305	3672	4196	5246	6820	9875
	13	12.91	3058	3440	3822	4368	5460	7098	10278
	14	13.40	3173	3569	3966	4533	5666	7366	10666
	15	13.87	3284	3695	4105	4692	5865	7625	11041
	16	14.32	3392	3816	4240	4846	6058	7875	11403
	17	14.76	3496	3933	4370	4995	6244	8117	11754
	18	15.19	3598	4047	4497	5139	6425	8352	12095
	19	15.61	3696	4158	4620	5280	6601	8581	12426
	20	16.01	3792	4266	4740	5417	6773	8804	12749
65	2	5.32	1259	1416	1574	1798	2248	2923	4232
	3	6.51	1542	1735	1927	2203	2753	3579	5183
	4	7.52	1780	2003	2225	2543	3179	4133	5985
	5	8.41	1990	2239	2488	2843	3555	4621	6691
	6	9.21	2180	2453	2725	3115	3894	5062	7330
	7	9.95	2355	2650	2944	3364	4206	5468	7917
	8	10.63	2518	2832	3147	3597	4496	5845	8464
	9	11.28	2671	3004	3338	3815	4769	6200	8977
	10	11.89	2815	3167	3519	4021	5027	6535	9463
	11	12.47	2952	3321	3690	4217	5273	6854	9925
	12	13.02	3084	3469	3854	4405	5507	7159	10366
	13	13.55	3210	3611	4012	4585	5732	7451	10790

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=2200mm，D=1400mm			A_n/A_m=3.73			A=0.42m^2
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.8	3.15	3.5	4	5	6.5	
			4497	5059	5621	6424	8031	10440	
65	14	14.07	3331	3747	4163	4758	5948	7732	11197
	15	14.56	3448	3878	4309	4925	6157	8004	11590
	16	15.04	3561	4006	4451	5086	6359	8266	11970
	17	15.50	3670	4129	4588	5243	6555	8521	12338
	18	15.95	3777	4249	4721	5395	6745	8768	12696
	19	16.39	3880	4365	4850	5543	6929	9008	13044
	20	16.81	3981	4478	4976	5687	7109	9242	13383
90	2	6.26	1483	1669	1854	2119	2649	3444	4987
	3	7.67	1817	2044	2271	2595	3245	4218	6107
	4	8.86	2098	2360	2622	2997	3746	4870	7052
	5	9.90	2345	2639	2932	3351	4189	5445	7885
	6	10.85	2569	2890	3212	3670	4588	5965	8637
	7	11.72	2775	3122	3469	3964	4956	6443	9329
	8	12.53	2967	3338	3708	4238	5298	6888	9973
	9	13.29	3147	3540	3933	4495	5620	7305	10578
	10	14.01	3317	3732	4146	4738	5924	7701	11151
	11	14.69	3479	3914	4348	4970	6213	8076	11695
	12	15.34	3634	4088	4542	5191	6489	8436	12215
	13	15.97	3782	4255	4727	5403	6754	8780	12714
	14	16.57	3925	4415	4906	5606	7009	9111	13194
	15	17.16	4062	4570	5078	5803	7255	9431	13657
	16	17.72	4196	4720	5244	5994	7493	9740	14105
	17	18.26	4325	4865	5406	6178	7724	10040	14539
	18	18.79	4450	5006	5563	6357	7947	10331	14960
	19	19.31	4572	5144	5715	6531	8165	10614	15370
	20	19.81	4691	5277	5863	6701	8377	10890	15769

表 G-11　　运煤皮带转运站机械除尘抽风量（B=2400mm）

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=2400mm，D=1500mm			A_n/A_m=3.54			A=0.45m^2
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.8	3.15	3.5	4	5	6.5	
			5447	6128	6808	7781	9726	12644	
55	2	4.77	1299	1461	1623	1855	2319	3014	4069
	3	5.84	1590	1789	1988	2272	2840	3692	4983
	4	6.75	1836	2066	2295	2623	3279	4263	5754

续表

α (°)	H (m)	v_m (m/s)	L_1 (m^3/h)						L_2 (m^3/h)
			B=2400mm，D=1500mm			A_n/A_m=3.54			A=0.45m^2
			上行：v_b (m/s)　下行：V (t/h)						
			2.8	3.15	3.5	4	5	6.5	
			5447	6128	6808	7781	9726	12644	
55	5	7.54	2053	2310	2566	2933	3666	4766	6433
	6	8.26	2249	2530	2811	3213	4016	5221	7047
	7	8.92	2429	2733	3036	3470	4338	5639	7612
	8	9.54	2597	2922	3246	3710	4637	6029	8137
	9	10.12	2755	3099	3443	3935	4919	6394	8631
	10	10.67	2904	3267	3629	4148	5185	6740	9098
	11	11.19	3045	3426	3806	4350	5438	7069	9542
	12	11.68	3181	3578	3976	4544	5679	7383	9966
	13	12.16	3311	3725	4138	4729	5911	7685	10373
	14	12.62	3436	3865	4294	4908	6135	7975	10765
	15	13.06	3556	4001	4445	5080	6350	8255	11142
	16	13.49	3673	4132	4591	5247	6558	8526	11508
	17	13.91	3786	4259	4732	5408	6760	8788	11862
	18	14.31	3896	4383	4869	5565	6956	9043	12206
	19	14.70	4002	4503	5002	5717	7147	9291	12540
	20	15.08	4106	4620	5132	5866	7332	9532	12866
60	2	5.06	1379	1551	1723	1969	2462	3200	4319
	3	6.20	1688	1900	2110	2412	3015	3919	5290
	4	7.16	1950	2193	2437	2785	3481	4526	6109
	5	8.01	2180	2452	2724	3114	3892	5060	6830
	6	8.77	2388	2686	2984	3411	4264	5543	7482
	7	9.47	2579	2902	3224	3684	4605	5987	8081
	8	10.13	2757	3102	3446	3939	4923	6400	8639
	9	10.74	2924	3290	3655	4178	5222	6788	9163
	10	11.32	3083	3468	3853	4404	5504	7156	9659
	11	11.88	3233	3637	4041	4618	5773	7505	10130
	12	12.40	3377	3799	4221	4824	6030	7839	10580
	13	12.91	3515	3954	4393	5021	6276	8159	11013
	14	13.40	3647	4103	4559	5210	6513	8467	11428
	15	13.87	3775	4247	4719	5393	6741	8764	11829
	16	14.32	3899	4387	4874	5570	6962	9051	12217
	17	14.76	4019	4522	5024	5742	7177	9330	12593
	18	15.19	4136	4653	5169	5908	7385	9600	12958
	19	15.61	4249	4780	5311	6070	7587	9863	13314
	20	16.01	4360	4905	5449	6228	7784	10120	13659

续表

α（°）	H（m）	v_m（m/s）	L_1（m^3/h）						L_2（m^3/h）
			B=2400mm，D=1500mm			A_n/A_m=3.54			A=0.45m^2
			上行：v_b（m/s） 下行：V（t/h）						
			2.8	3.15	3.5	4	5	6.5	
			5447	6128	6808	7781	9726	12644	
65	2	5.32	1447	1628	1809	2067	2584	3359	4534
	3	6.51	1772	1994	2215	2532	3165	4114	5553
	4	7.52	2047	2302	2558	2924	3654	4751	6412
	5	8.41	2288	2574	2860	3269	4086	5311	7169
	6	9.21	2507	2820	3133	3581	4476	5818	7854
	7	9.95	2707	3046	3384	3868	4834	6285	8483
	8	10.63	2894	3256	3618	4135	5168	6719	9069
	9	11.28	3070	3454	3837	4385	5482	7126	9619
	10	11.89	3236	3641	4045	4623	5778	7512	10139
	11	12.47	3394	3818	4242	4848	6060	7878	10634
	12	13.02	3545	3988	4431	5064	6330	8229	11107
	13	13.55	3690	4151	4611	5271	6588	8565	11560
	14	14.07	3829	4308	4786	5469	6837	8888	11997
	15	14.56	3963	4459	4953	5661	7077	9200	12418
	16	15.04	4093	4605	5116	5847	7309	9501	12825
	17	15.50	4219	4747	5273	6027	7534	9794	13220
	18	15.95	4342	4884	5426	6202	7752	10078	13603
	19	16.39	4460	5018	5575	6372	7964	10354	13976
	20	16.81	4576	5148	5720	6537	8171	10623	14339
90	2	6.26	1705	1918	2131	2436	3045	3958	5343
	3	7.67	2088	2350	2610	2983	3729	4848	6544
	4	8.86	2412	2713	3014	3445	4306	5598	7556
	5	9.90	2696	3033	3370	3852	4814	6259	8448
	6	10.85	2954	3323	3692	4219	5274	6856	9254
	7	11.72	3190	3589	3987	4557	5696	7405	9996
	8	12.53	3410	3837	4263	4872	6090	7917	10686
	9	13.29	3617	4070	4521	5167	6459	8397	11334
	10	14.01	3813	4290	4766	5447	6808	8851	11947
	11	14.69	3999	4499	4998	5713	7141	9283	12530
	12	15.34	4177	4699	5221	5967	7458	9696	13087
	13	15.97	4348	4891	5434	6210	7763	10092	13622
	14	16.57	4512	5076	5639	6445	8056	10473	14136
	15	17.16	4670	5254	5837	6671	8339	10840	14632
	16	17.72	4823	5426	6028	6890	8612	11196	15112
	17	18.26	4972	5593	6214	7102	8877	11540	15577
	18	18.79	5116	5755	6394	7308	9135	11875	16029
	19	19.31	5256	5913	6569	7508	9385	12200	16468
	20	19.81	5392	6067	6740	7703	9629	12517	16896

附录H　饱和蒸汽、过热蒸汽及凝结水比焓表

H.1　饱和蒸汽比焓

对饱和蒸汽而言，其压力和温度之间是一一对应的关系，为方便查表，表H-1、表H-2分别给出按压力和温度数值大小排序的比焓。

表H-1　饱和蒸汽比焓（按压力由大到小排列）

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
0.001	6.98	2513.8
0.002	17.51	2533.2
0.003	24.10	2545.2
0.004	28.98	2554.1
0.005	32.90	2561.2
0.006	36.18	2567.1
0.007	39.02	2572.2
0.008	41.53	2576.7
0.009	43.79	2580.8
0.010	45.83	2584.4
0.015	54.00	2598.9
0.020	60.09	2609.6
0.025	64.99	2618.1
0.030	69.12	2625.3
0.040	75.89	2636.8
0.050	81.35	2645.0
0.060	85.95	2653.6
0.070	89.96	2660.2
0.080	93.51	2666.0
0.090	96.71	2671.1
0.10	99.63	2675.7
0.12	104.81	2683.8
0.14	109.32	2690.8
0.16	113.32	2696.8
0.18	116.93	2702.1
0.20	120.23	2706.9
0.25	127.43	2717.2
0.30	133.54	2725.5
0.35	138.88	2732.5
0.40	143.62	2738.5
0.45	147.92	2743.8

续表

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
0.50	151.85	2748.5
0.60	158.84	2756.4
0.70	164.96	2762.9
0.80	170.42	2768.4
0.90	175.36	2773.0
1.00	179.88	2777.0
1.10	184.06	2780.4
1.20	187.96	2783.4
1.30	191.6	2786.0
1.40	195.04	2788.4
1.50	198.28	2790.4
1.60	201.37	2792.2
1.40	204.3	2793.8
1.50	207.1	2795.1
1.90	209.79	2796.4
2.00	212.37	2797.4
2.20	217.24	2799.1
2.40	221.78	2800.4
2.60	226.03	2801.2
2.80	230.04	2801.7
3.00	233.84	2801.9
3.50	242.54	2801.3
4.00	250.33	2799.4
5.00	263.92	2792.8
6.00	275.56	2783.3
7.00	285.8	2771.4
8.00	294.98	2757.5
9.00	303.31	2741.8
10.0	310.96	2724.4
11.0	318.04	2705.4
12.0	324.64	2684.8
13.0	330.81	2662.4
14.0	336.63	2638.3
15.0	342.12	2611.6
16.0	347.32	2582.7
17.0	352.26	2550.8

续表

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
18.0	356.96	2514.4
19.0	361.44	2470.1
20.0	365.71	2413.9
21.0	369.79	2340.2
22.0	373.68	2192.5

表 H-2　饱和蒸汽比焓（按温度由低到高排列）

温度（℃）	压力（绝对压力，MPa）	比焓（kJ/kg）
0	0.000611	2501.0
0.01	0.000611	2501.0
1	0.000657	2502.8
2	0.000705	2504.7
3	0.000758	2506.5
4	0.000813	2508.3
5	0.000872	2510.2
6	0.000935	2512.0
7	0.001001	2513.9
8	0.001072	2515.7
9	0.001147	2517.5
10	0.001227	2519.4
11	0.001312	2521.2
12	0.001402	2523.0
13	0.001497	2524.9
14	0.001597	2526.7
15	0.001704	2528.6
16	0.001817	2530.4
17	0.001936	2532.2
18	0.002063	2534.0
19	0.002196	2535.9
20	0.002337	2537.7
22	0.002642	2541.4
24	0.002982	2545.0
26	0.00336	2543.6
28	0.003779	2552.3
30	0.004242	2555.9
35	0.005622	2565.0
40	0.007375	2574.0
45	0.009582	2582.9
50	0.012335	2591.8
55	0.01574	2600.7
60	0.019919	2609.5
65	0.025008	2618.2

续表

温度（℃）	压力（绝对压力，MPa）	比焓（kJ/kg）
70	0.031161	2626.8
75	0.038548	2635.3
80	0.047359	2643.8
85	0.057803	2652.1
90	0.070108	2660.3
95	0.084525	2668.4
100	0.101325	2676.3
110	0.14326	2691.8
120	0.19854	2706.6
130	0.27012	2720.7
140	0.36136	2734
150	0.47597	2746.3
160	0.61804	2757.7
170	0.79202	2768
180	1.0027	2777.1
190	1.2552	2784.9
200	1.5551	2791.4
210	1.9079	2796.4
220	2.3201	2799.9
230	2.7979	2801.7
240	3.348	2801.6
250	3.9776	2799.5
260	4.694	2795.2
270	5.5051	2788.3
280	6.4191	2778.6
290	7.4448	2765.4
300	8.5917	2748.4
310	9.8697	2726.8
320	11.29	2699.6
330	12.865	2665.5
340	14.608	2622.3
350	16.537	2566.1
360	18.674	2485.7
370	21.053	2335.7
371	21.306	2310.7
372	21.562	2280.1
373	21.821	2238.3
374	22.084	2150.7

H.2　过热蒸汽比焓

过热蒸汽的温度与压力之间没有一一对应关系，同一压力下可以对应很多过热蒸汽温度。表 H-3 给出过热蒸汽在不同压力和温度下对应的比焓。

表 H-3　　过热蒸汽比焓　　kJ/kg

温度（℃）	压力（绝对压力，MPa）					
	0.01	0.1	0.5	1	3	5
0	0	0.1	0.5	1	3	5
10	42	42.1	42.5	43	44.9	46.9
20	83.9	84	84.3	84.8	86.7	88.6
40	167.4	167.5	167.9	168.3	170.1	171.9
60	2611.3	251.2	251.2	251.9	253.6	255.3
80	2649.3	335	335.3	335.7	337.3	338.8
100	2687.3	2676.5	419.4	419.7	421.2	422.7
120	2725.4	2716.8	503.9	504.3	505.7	507.1
140	2763.6	2756.6	589.2	589.5	590.8	592.1
160	2802	2796.2	2767.3	675.7	676.9	678
180	2840.6	2835.7	2812.1	2777.3	764.1	765.2
200	2879.3	2875.2	2855.5	2827.5	853	853.8
220	2918.3	2914.7	2898	2874.9	943.9	944.4
240	2957.4	2954.3	2939.9	2920.5	2823	1037.8
260	2996.8	2994.1	2981.5	2964.8	2885.5	1135
280	3036.5	3034	3022.9	3008.3	2941.8	2857
300	3076.3	3074.1	3064.2	3051.3	2994.2	2925.4
350	3177	3175.3	3167.6	3157.7	3115.7	3069.2
400	3279.4	3278	3217.8	3264	3231.6	3196.9
420	3320.96	3319.68	3313.8	3306.6	3276.9	3245.4
440	3362.52	3361.36	3355.9	3349.3	3321.9	3293.2
450	3383.3	3382.2	3377.1	3370.7	3344.4	3316.8
460	3404.42	3403.34	3398.3	3392.1	3366.8	3340.4
480	3446.66	3445.62	3440.9	3435.1	3411.6	3387.2
500	3488.9	3487.9	3483.7	3478.3	3456.4	3433.8
520	3531.82	3530.9	3526.9	3521.86	3501.28	3480.12
540	3574.74	3573.9	3570.1	3565.42	3546.16	3526.44
550	3593.2	3595.4	3591.7	3587.2	3568.6	3549.6
560	3618	3617.22	3613.64	3609.24	3591.18	3572.76
580	3661.6	3660.86	3657.52	3653.32	3636.34	3619.08
600	3705.2	3704.5	3701.4	3697.4	3681.5	3665.4

温度（℃）	压力（绝对压力，MPa）					
	7.00	10	14	20	25	30
0	7.10	10.1	14.1	20.1	25.1	30
10	48.80	51.7	55.6	61.3	66.1	70.8
20	90.40	93.2	97	102.5	107.1	111.7
40	173.60	176.3	179.8	185.1	189.4	193.8
60	256.90	259.4	262.8	267.8	272	276.1

续表

温度（℃）	压力（绝对压力，MPa）					
	7.00	10	14	20	25	30
80	340.40	342.8	346	350.8	354.8	358.7
100	424.20	426.5	429.5	434	437.8	441.6
120	508.50	510.6	513.5	517.7	521.3	524.9
140	593.40	595.4	598	602	605.4	603.1
160	679.20	681	683.4	687.1	690.2	693.3
180	766.20	767.8	769.9	773.1	775.9	778.7
200	854.63	855.9	857.7	860.4	862.8	856.2
220	945.00	946	947.2	949.3	951.2	953.1
240	1038.00	1038.4	1039.1	1040.3	1041.5	1024.8
260	1134.70	1134.3	1134.1	1134	1134.3	1134.8
280	1236.70	1235.2	1233.5	1231.6	1230.5	1229.9
300	2839.20	1343.7	1339.5	1334.6	1331.5	1329
350	3017.00	2924.2	2753.5	1648.4	1626.4	1611.3
400	3159.70	3098.5	3004	2820.1	2583.2	2159.1
420	3211.02	3155.98	3072.72	2917.02	2730.76	2424.7
440	3262.34	3213.46	3141.44	3013.94	2878.32	2690.3
450	3288.00	3242.2	3175.8	3062.4	2952.1	2823.1
460	3312.44	3268.58	3205.24	3097.96	2994.68	2875.26
480	3361.32	3321.34	3264.12	3169.08	3079.84	2979.58
500	3410.20	3374.1	3323	3240.2	3165	3083.9
520	3458.60	3425.1	3378.4	3303.7	3237	3166.1
540	3506.40	3475.4	3432.5	3364.6	3304.7	3241.7
550	3530.20	3500.4	3459.2	3394.3	3337.3	3277.7
560	3554.10	3525.4	3485.8	3423.6	3369.2	3312.6
580	3601.60	3574.9	3538.2	3480.9	3431.2	3379.8
600	3649.00	3624	3589.8	3536.9	3491.2	3444.2

H.3　凝结水比焓

表 H-4　　凝 结 水 比 焓

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
0.35	138.891	584.45
0.36	139.885	588.71
0.37	140.855	592.88
0.38	141.803	596.96
0.39	142.732	600.95
0.40	143.642	604.87
0.41	144.535	608.71
0.42	145.411	612.48
0.43	146.269	616.18

续表

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
0.44	147.112	619.82
0.45	147.939	623.38
0.46	148.751	626.89
0.47	149.550	630.34
0.48	150.336	633.73
0.49	151.108	637.07
0.50	151.867	640.35
0.52	153.350	646.77
0.54	154.788	653.00
0.56	156.185	659.05
0.58	157.543	664.95

续表

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
0.60	158.863	670.67
0.62	160.148	676.26
0.64	161.402	681.72
0.66	162.625	687.04
0.68	163.817	692.24
0.70	164.983	697.32
0.72	166.123	702.29
0.74	167.237	707.16
0.76	168.328	711.93
0.78	169.397	716.61
0.80	170.444	721.20
0.82	171.471	725.69
0.84	172.477	730.11
0.86	173.466	734.45
0.88	174.436	738.71
0.90	175.389	742.90

续表

压力（绝对压力，MPa）	温度（℃）	比焓（kJ/kg）
0.92	176.325	747.02
0.94	177.245	751.07
0.96	178.150	755.05
0.98	179.040	758.98
1.00	179.916	762.84
1.05	182.048	772.26
1.10	184.100	781.35
1.15	186.081	790.14
1.20	187.995	798.64
1.25	189.848	806.89
1.30	191.644	814.89
1.35	193.386	822.67
1.40	195.078	830.24
1.45	196.725	837.62
1.50	198.327	844.82
1.55	199.887	851.84

附录I 室外热水管网水力计算表

公称直径	DN25		DN32		DN40		DN50		DN65		DN80	
外径×厚度（mm×mm）	32×2.5		38×2.5		45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
0.5	0.25	55.7	0.17	19.2								
0.6	0.30	79.7	0.2	27.5	0.14	9.99						
0.7	0.35	105.2	0.24	37.1	0.16	13.5						
0.8	0.41	137.4	0.27	48.4	0.18	17.5						
0.9	0.46	173.9	0.31	61	0.21	22.1						
1.0	0.51	214.6	0.34	73.1	0.23	27.1						
1.1	0.56	259.7	0.37	89.4	0.25	37.6	0.16	10.1				
1.2	0.61	309.1	0.41	105.3	0.28	38.8	0.18	12				
1.3	0.66	362.8	0.44	123.5	0.3	45.4	0.19	14				
1.4	0.71	420.7	0.47	143.2	0.32	52.6	0.21	16.2				
1.5	0.76	482.9	0.51	164.4	0.35	58.7	0.22	18.5				
1.6	0.81	549.5	0.54	187.1	0.37	66.7	0.24	21.1				
1.7	0.86	620.3	0.58	211.2	0.39	75.4	0.25	23.7				
1.8	0.91	695.5	0.61	236.8	0.42	84.5	0.27	26.5				
1.9	0.96	774.9	0.64	263.8	0.44	94.1	0.28	29.5				
2.0	1.01	858.7	0.68	292.2	0.46	104.3	0.30	32.6				
2.1	1.06	946.7	0.71	332.2	0.48	115	0.31	36				
2.2			0.75	353.7	0.51	126.2	0.32	38.3				
2.3			0.78	386.5	0.53	137.9	0.34	41.8				
2.4			0.81	420.9	0.55	150.1	0.35	45.6				
2.5			0.85	456.7	0.58	163	0.37	49.5	0.19	9.3		
2.6			0.88	493.9	0.60	176.2	0.38	53.5	0.20	10.1		
2.7			0.92	523.6	0.62	190	0.40	57.6	0.21	10.8		
2.8			0.95	572.8	0.65	204.4	0.41	62	0.22	11.6		
2.9			0.98	614.5	0.67	219.2	0.43	66.5	0.22	12.4		
3.0			1.02	657.6	0.69	234.6	0.44	71.1	0.23	13.3		
3.1			1.05	702.2	0.72	250.6	0.46	70.0	0.24	14.2		
3.2			1.08	748.2	0.74	267	0.47	81	0.25	15.1		
3.3			1.12	795.8	0.76	283.9	0.49	86.1	0.26	16.0		
3.4			1.15	844.7	0.78	301.4	0.5	91.4	0.26	17.1		
3.5					0.81	319.4	0.52	96.9	0.27	18.0	0.19	7.3
3.6					0.83	337.9	0.53	102.5	0.28	19.0	0.20	7.6
3.7					0.85	356.9	0.55	108.3	0.29	20.1	0.20	8.1

续表

公称直径	DN25		DN32		DN40		DN50		DN65		DN80	
外径×厚度（mm×mm）	32×2.5		38×2.5		45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
3.8					0.88	376.4	0.56	114.3	0.29	21.2	0.21	8.5
3.9					0.90	396.5	0.58	120.3	0.30	22.2	0.21	9.0

公称直径	DN40		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
外径×厚度（mm×mm）	45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5		108×4		133×4	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
4.0	0.92	417.1	0.59	126.6	0.31	23.4						
4.2	0.97	469.9	0.62	139.6	0.33	25.1						
4.4	1.02	504.7	0.66	153.2	0.34	27.5						
4.6	1.06	551.6	0.68	167.4	0.36	30.2						
4.8	1.11	600.6	0.71	182.3	0.37	32.7						
5.0	1.15	651.8	0.74	197.8	0.39	35.6						
5.2	1.20	704.9	0.77	213.9	0.40	58.4						
5.4	1.25	760.2	0.80	230.7	0.42	41.5	0.30	17.1				
5.6	1.29	817.6	0.83	248.0	0.43	44.6	0.31	18.3				
5.8	1.34	877	0.86	266.1	0.45	47.8	0.32	19.7				
6.0	1.38	938	0.89	284.8	0.47	51.2	0.33	20.5				
6.2	1.43	1002.1	0.92	304.1	0.48	54.7	0.34	21.9				
6.4			0.95	324.0	0.50	58.2	0.35	23.2				
6.6			0.97	344.0	0.51	61.9	0.36	24.7				
6.8			1.00	365.8	0.53	65.8	0.37	26.3				
7.0			1.03	387.6	0.54	69.2	0.38	27.8				
7.5			1.11	418.4	0.58	80.0	0.41	31.9				
8.0			1.18	506.3	0.63	96.9	0.44	36.4	0.3	13.0		
8.5			1.26	571.5	0.66	102.7	0.47	41.1	0.31	14.1		
9.0			1.33	640.7	0.70	115.2	0.49	46.0	0.33	16.1		
9.5			1.40	713.9	0.74	128.3	0.52	51.3	0.35	17.8		
10.0			1.48	791.1	0.78	142.2	0.55	56.7	0.37	19.8		
10.5			1.55	872.2	0.81	156.7	0.58	62.6	0.39	21.9		
11.0			1.62	957.2	0.85	172.0	0.60	68.7	0.41	24.0		
11.5			1.70	1046	0.89	188.1	0.63	75.1	0.42	26.2		
12.0					0.93	204.7	0.66	81.7	0.44	28.5		
12.5					0.97	222.2	0.69	88.7	0.46	31.0	0.3	9.8
13.0					1.01	240.3	0.71	95.9	0.48	33.6	0.31	10.6
13.5					1.05	259.1	0.74	102.9	0.50	36.1	0.32	11.5

续表

公称直径	DN40		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
外径×厚度（mm×mm）	45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5		108×4		133×4	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
14.0					1.09	278.6	0.77	111.3	0.52	38.8	0.33	11.9
14.5					1.12	298.9	0.80	119.1	0.54	41.7	0.34	12.7
15.0					1.16	319.9	0.82	127.8	0.55	44.6	0.35	13.6
16.0					1.24	364.0	0.88	145.3	0.59	50.7	0.38	15.6
17.0					1.32	410.8	0.93	164.3	0.63	57.2	0.40	17.5
18					1.40	460.6	0.99	184.0	0.66	64.2	0.43	19.7

公称直径	DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200	
外径×厚度（mm×mm）	76×3.5		89×3.5		108×4		133×4		159×4.5		219×6	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
19	1.47	513.2	1.04	205	0.70	71.5	0.45	22.0				
20	1.55	568.7	1.1	227.2	0.74	79.3	0.47	24.3				
21	1.68	626.9	1.15	250.5	0.78	87.3	0.50	26.8				
22	1.71	688.1	1.21	274.9	0.81	95.8	0.52	29.4				
23	1.78	752.1	1.26	300.4	0.85	104.8	0.54	32.1				
24	1.86	818.9	1.32	327.1	0.89	114.1	0.57	35.0				
25	1.94	888.6	1.37	355.0	0.92	123.8	0.59	37.9				
26			1.43	383.9	0.96	133.9	0.61	41.1				
27			1.48	414.0	1.00	144.5	0.64	44.3				
28			1.54	445.2	1.03	155.3	0.66	47.6				
29			1.59	477.6	1.07	166.6	0.69	51.1				
30			1.65	511.1	1.11	178.3	0.71	54.7				
31			1.70	515.8	1.14	190.4	0.73	58.4				
32			1.76	581.5	1.18	202.9	0.76	62.2				
33			1.81	618.5	1.22	215.7	0.78	66.2				
34			1.87	656.3	1.26	229.0	0.80	70.3				
35			1.92	699.7	1.29	242.6	0.83	74.4				
36			1.98	736.0	1.33	255.8	0.85	78.7				
37					1.37	271.2	0.87	83.2	0.61	31.8		
38					1.40	286.1	0.90	87.7	0.62	33.4		
39					1.44	301.3	0.92	92.4	0.64	35.2		
40					1.48	316.9	0.95	97.2	0.66	37.0	0.35	6.8
41					1.51	333.0	0.97	102.1	0.67	38.9	0.35	7.1
42					1.65	349.5	0.99	107.1	0.68	40.9	0.36	7.4
43					1.59	366.2	1.02	112.3	0.71	42.8	0.37	7.8

续表

公称直径	DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200	
外径×厚度（mm×mm）	76×3.5		89×3.5		108×4		133×4		159×4.5		219×6	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
44					1.62	383.5	1.04	117.5	0.72	44.9	0.38	8.1
45					1.66	401.1	1.06	113.0	0.74	46.9	0.39	8.5
46					1.70	419.1	1.09	128.6	0.75	49.0	0.40	8.9
47					1.74	437.6	1.11	134.2	0.77	51.2	0.41	9.3
48					1.77	456.4	1.13	140.0	0.79	53.3	0.41	9.7
49					1.81	475.6	1.16	145.8	0.80	55.6	0.42	10.2
50					1.85	495.2	1.18	151.9	0.82	57.9	0.43	10.6
52					1.92	535.7	1.23	164.2	0.85	62.6	0.45	11.5
54							1.28	177.1	0.89	67.5	0.47	12.3
56							1.32	190.5	0.92	72.6	0.48	13.2

公称直径	DN125		DN150		DN200		DN250		DN300		DN350	
外径×厚度（mm×mm）	133×4		159×4.5		219×6		373×6		325×7		377×7	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
58	1.37	204.3	0.95	77.9								
60	1.42	218.6	0.98	83.4	0.52	15.2						
62	1.47	233.5	1.02	89.0	0.53	16.3						
64	1.51	248.8	1.05	94.9	0.55	17.4						
66	1.56	264.6	1.08	100.8	0.57	18.4						
68	1.61	280.9	1.12	107.1	0.59	19.6						
70	1.65	297.6	1.15	113.5	0.60	20.7						
72	1.70	314.9	1.18	120.1	0.62	22.0						
74	1.75	332.6	1.21	126.8	0.64	23.1						
76	1.80	350.8	1.25	133.3	0.65	24.4						
78	1.84	369.5	1.28	142.9	0.67	25.8						
80	1.89	368.8	1.31	148.2	0.69	27.0						
85			1.39	167.3	0.73	30.6						
90			1.48	187.6	0.78	34.3						
95			1.56	209.0	0.82	38.2						
100			1.64	231.6	0.86	42.3						
105			1.72	255.3	0.90	46.4						
110			1.81	280.2	0.95	51.2	0.60	15.1				
115			1.89	306.3	0.99	36.0	0.62	16.5				
120			1.97	333.5	1.03	61.0	0.65	17.9				
125			2.05	361.8	1.68	66.1	0.68	19.5				

续表

公称直径	DN125		DN150		DN200		DN250		DN300		DN350	
外径×厚度（mm×mm）	133×4		159×4.5		219×6		373×6		325×7		377×7	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
130			2.13	391.4	1.12	71.4	0.70	21.1				
135			2.22	422.1	1.16	77.1	0.73	22.7				
140			2.30	453.9	1.21	80.9	0.76	24.4				
145			2.38	486.9	1.25	88.9	0.79	26.3				
150			2.46	521.1	1.29	95.2	0.81	28.0				
155					1.34	101.6	0.84	30.0				
160					1.38	108.3	0.87	31.9	0.61	12.7		
165					1.42	115.2	0.89	34.0	0.63	13.6		
170					1.46	122.2	0.92	36.1	0.65	14.3		
175					1.51	129.6	0.95	38.2	0.67	15.2		
180					1.55	137.0	0.98	40.4	0.69	16.1		
190					1.64	152.7	1.03	45.0	0.73	17.9		
200					1.72	169.2	1.08	49.9	0.76	19.8		
210					1.81	186.5	1.14	55.0	0.80	21.9	0.59	9.7

公称直径	DN200		DN250		DN300		DN350		DN400		DN450	
外径×厚度（mm×mm）	219×6		373×6		325×7		377×7		426×7		478×7	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
220	1.90	204.7	1.19	60.4								
230	1.98	223.7	1.25	66.0								
240	2.07	243.6	1.30	71.8								
250	2.15	264.4	1.36	77.9								
260	2.24	286.0	1.41	84.3								
270	2.33	308.4	1.46	90.9	1.03	36.2						
280	2.41	331.6	1.52	97.8	1.07	38.9						
290	2.50	355.7	1.57	104.9	1.11	41.7						
300			1.63	112.2	1.15	44.7						
310			1.68	119.9	1.18	47.6						
320			1.73	127.7	1.22	50.8						
330			1.79	135.8	1.26	54.0						
340			1.84	144.2	1.30	57.3						
350			1.90	152.8	1.34	60.8						
360			1.95	161.7	1.37	64.3	1.01	28.5				
370			2.01	170.7	1.41	67.9	1.04	30.1				
380			2.06	180.1	1.45	71.6	1.06	31.8				

续表

公称直径	DN200		DN250		DN300		DN350		DN400		DN450	
外径×厚度（mm×mm）	219×6		373×6		325×7		377×7		426×7		478×7	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
390			2.11	189.7	1.49	75.5	1.09	33.5				
400			2.17	199.5	1.53	79.4	1.12	35.2				
410			2.22	209.7	1.57	83.4	1.15	87.0				
420			2.28	220.0	1.60	87.5	1.18	38.8				
430			2.33	230.0	1.64	91.7	1.20	40.7				
440			2.38	241.5	1.68	96.0	1.23	42.6				
450			2.44	252.5	1.72	100.5	1.26	44.6				
460			2.49	263.9	1.76	105.0	1.29	46.6				
470			2.55	275.6	1.79	109.6	1.32	48.6	1.02	25.0		
480			2.60	287.8	1.83	114.3	1.34	50.7	1.04	26.1		
490			2.66	299.5	1.87	119.1	1.37	52.8	1.07	27.1		
500			2.71	311.8	1.91	124.0	1.40	55.0	1.09	28.3		
520			2.82	337.3	1.90	134.2	1.46	59.5	1.13	30.6		
540			2.93	363.7	2.00	144.6	1.51	64.2	1.17	33.0		
560					2.14	155.5	1.57	69.0	1.22	35.5		
580					2.21	166.9	1.63	74.0	1.26	38.1		
600					2.29	178.6	1.68	79.2	1.31	40.8	1.03	21.9
620					2.37	190.7	1.74	84.6	1.35	43.5	1.06	23.3

公称直径	DN350		DN400		DN450		DN500		DN600		DN700	
外径×厚度（mm×mm）	377×7		426×7		478×7		529×7		630×7		720×8	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
640	1.79	90.2	1.39	46.4	1.10	24.9						
660	1.85	95.8	1.44	49.3	1.13	26.5						
680	1.91	101.7	1.48	52.3	1.17	28.0						
700	1.96	107.8	1.52	55.5	1.20	29.7						
720	2.02	114.1	1.57	58.7	1.23	31.5	1.00	18.2				
740	2.07	120.5	1.61	62.0	1.27	33.2	1.03	19.2				
760	2.13	127.1	1.65	65.4	1.30	35.1	1.06	20.3				
780	2.19	133.9	1.70	68.9	1.34	36.9	1.09	21.4				
800	2.24	140.8	1.74	72.4	1.37	38.8	1.11	22.4				
820	2.30	148.0	1.78	76.1	1.41	40.8	1.14	23.6				
840	2.35	155.3	1.83	79.9	1.44	42.8	1.17	24.8				
860	2.41	162.8	1.87	83.7	1.47	44.9	1.20	26.0				
880	2.47	170.4	1.91	87.6	1.51	45.9	1.23	27.1				

续表

公称直径	DN350		DN400		DN450		DN500		DN600		DN700	
外径×厚度（mm×mm）	377×7		426×7		478×7		529×7		630×7		720×8	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
900	2.52	178.3	1.96	91.7	1.54	49.1	1.25	28.4				
920	2.58	186.3	2.00	95.8	1.58	51.4	1.28	29.7				
940	2.63	194.4	2.04	100.1	1.61	63.6	1.31	31.1				
960	2.69	202.9	2.09	104.4	1.65	56.0	1.34	32.3				
980	2.75	211.4	2.13	108.7	1.68	58.3	1.36	33.7				
1000	2.80	220.1	2.18	113.2	1.71	60.7	1.39	35.1				
1020	2.86	229.0	2.22	117.8	1.75	63.1	1.42	36.6				
1040	2.91	238.0	2.26	122.4	1.78	65.7	1.45	38.0	1.01	14.9		
1060	2.97	247.3	2.31	127.2	1.82	68.2	1.48	39.5	1.03	15.5		
1080			2.35	132.0	1.85	70.8	1.50	41.0	1.05	16.1		
1100			2.39	137.0	1.89	73.4	1.53	42.5	1.07	16.7		
1150			2.50	149.7	1.97	80.3	1.60	46.5	1.12	18.1		
1200			2.61	163.0	2.06	87.3	1.67	50.6	1.17	19.8		
1250			2.72	176.9	2.14	94.8	1.74	54.9	1.22	21.5		
1300			2.83	191.3	2.23	102.5	1.81	59.4	1.26	23.2		
1350			2.94	206.3	2.32	110.5	1.88	64.0	1.31	25.1	1.01	12.4
1400					2.40	118.9	1.95	68.8	1.36	27.0	1.04	13.4
1450					2.49	127.6	2.02	73.8	1.41	28.9	1.08	14.4
1500					2.57	136.5	2.09	80.0	1.46	30.9	1.12	15.4
1550					2.66	145.7	2.16	84.4	1.51	33.0	1.15	16.4
1600					2.74	155.3	2.23	89.9	1.56	35.2	1.19	17.4
1650					2.83	165.1	2.30	95.6	1.61	37.6	1.23	18.6

公称直径	DN450		DN500		DN600		DN700		DN800		DN900	
外径×厚度（mm×mm）	478×7		529×7		630×7		720×8		820×8		920×8	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
1700	2.92	175.3	2.37	101.4	1.65	39.7	1.27	19.7				
1750	3.00	185.8	2.44	107.5	1.70	42.0	1.30	20.9	1.00	10.5		
1800			2.51	113.8	1.75	44.5	1.34	22.1	1.03	11.1		
1850			2.58	120.1	1.80	47.0	1.38	23.3	1.06	11.7		
1900			2.64	126.7	1.85	49.6	1.42	24.7	1.09	12.3		
1950			2.71	133.5	1.90	52.2	1.45	26.9	1.11	12.9		
2000			2.78	140.4	1.95	55.0	1.49	27.3	1.14	13.6		
2100			2.92	154.8	2.04	60.6	1.56	30.1	1.20	15.0		
2200					2.14	66.5	1.64	33.0	1.26	16.5		

续表

公称直径	DN450		DN500		DN600		DN700		DN800		DN900	
外径×厚度（mm×mm）	478×7		529×7		630×7		720×8		820×8		920×8	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
2300					2.24	72.7	1.71	36.2	1.31	18.0	1.04	9.8
2400					2.34	79.2	1.79	39.3	1.37	19.6	1.08	10.7
2500					2.43	85.8	1.86	42.7	1.43	21.3	1.13	11.3
2600					2.53	92.9	1.94	46.2	1.49	23.0	1.17	12.4
2700					2.63	100.2	2.01	50.0	1.54	24.9	1.22	13.4
2800					2.72	107.7	2.09	53.5	1.60	26.8	1.27	14.5
2900					2.82	115.5	2.16	57.4	1.66	28.6	1.31	15.5
3000					2.92	123.7	2.23	61.4	1.71	32.4	1.36	16.7
3100					3.02	132.0	2.31	65.7	1.77	32.7	1.40	17.7
3200					3.11	140.7	2.38	70.0	1.83	34.9	1.45	18.9
3300					3.21	149.6	2.46	74.4	1.88	36.3	1.49	20.1
3400					3.31	158.9	2.53	79.0	1.94	39.4	1.54	21.4
3500					3.41	168.3	2.61	83.7	2.00	41.7	1.58	22.6
3600					3.50	178.1	2.68	88.5	2.06	44.2	1.63	23.9
3700					3.60	188.1	2.76	93.5	2.11	46.6	1.67	25.3
3800					3.70	198.4	2.83	98.6	2.17	49.2	1.72	26.7
3900					3.79	208.9	2.91	103.9	2.23	51.8	1.76	28.1
4000					3.89	219.8	2.98	109.3	2.28	54.5	1.81	29.5
4200					4.09	243.4	3.13	120.4	2.40	60.2	1.90	32.5
4400					4.28	266.0	3.28	132.2	2.51	66.0	1.99	35.8
4600					4.48	290.7	3.43	144.5	2.63	7.1	2.08	39.1
4800					4.67	316.5	3.58	157.3	2.74	78.5	2.17	42.5
5000					4.87	343.5	3.72	170.7	2.86	85.2	2.26	46.2
5200					5.06	371.5	3.87	184.6	2.97	92.1	235	49.9
5400					5.25	400.6	4.02	199.1	3.08	99.4	2.44	53.8
5600							4.17	21.4	3.20	106.9	2.53	57.9

公称直径	DN600		DN700		DN800		DN900		DN1000		DN1200	
外径×厚度（mm×mm）	630×7		720×8		820×8		920×8		1020×10		1220×12	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
5800			4.32	227.3	3.31	114.7	2.62	62.1	2.14	36.7	1.5	14.4
6000			4.47	245.9	3.43	122.7	2.71	66.4	2.22	39.2	1.55	15.4
6200			4.62	262.5	3.52	131.0	2.80	71.0	2.29	41.8	1.60	16.5
6400			4.77	280.0	3.66	139.7	2.89	75.7	2.36	44.6	1.65	17.5
6600			4.92	297.4	3.77	148.5	2.98	80.5	2.44	47.4	1.7	18.6

续表

公称直径	DN600		DN700		DN800		DN900		DN1000		DN1200	
外径×厚度（mm×mm）	630×7		720×8		820×8		920×8		1020×10		1220×12	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
6800			5.07	315.8	3.88	157.6	3.07	85.4	2.51	50.4	1.76	19.8
7000			5.21	334.6	4.00	167.0	3.16	90.5	2.58	53.4	1.81	21.0
7200			5.36	354.0	4.11	176.7	3.25	95.7	2.66	56.4	1.86	22.1
7400			5.51	374.2	4.23	186.7	3.34	101.1	2.73	59.7	1.91	23.4
7600			5.66	394.5	4.34	196.9	3.43	106.6	2.81	62.9	1.95	24.7
7800			5.81	415.4	4.46	207.4	3.52	112.3	2.88	66.3	2.01	26.0
8000			5.96	437.1	4.57	218.1	3.61	118.2	2.95	69.8	2.07	27.3
8200					4.68	229.2	3.70	124.2	3.03	73.3	2.12	28.7
8400					4.80	240.5	3.80	130.3	3.10	76.9	2.17	30.2
8600					4.91	252.1	3.89	136.6	3.18	80.6	2.22	31.7
8800					5.03	263.9	3.98	146.5	3.25	84.3	2.27	33.1
9000					5.14	276.1	4.07	149.5	3.32	88.2	2.33	34.7
9200					5.25	288.5	4.16	156.3	3.40	92.1	2.38	36.2
9400					5.37	301.2	4.25	163.2	3.47	96.1	3.42	37.7
9600					5.48	314.1	4.34	170.2	3.55	100.0	2.48	39.4
9800					5.60	327.3	4.43	177.4	3.62	104.9	2.53	41.1
10000					5.71	340.8	4.52	184.6	3.69	108.8	2.58	42.7
10500									3.88	119.6	2.71	47.1
11000									4.06	131.3	2.84	51.7
11500									4.25	144.1	2.97	56.5

注　Ra=0.5mm，t=100℃，ρ=958.4kg/m^3，运动黏度ν =0.295×10^{-6}m^2/s。

附录J　室外蒸汽管道水力计算表

公称直径	DN50		DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200	
外径×厚度（mm×mm）	57×3.5		76×3.5		89×3.5		108×4		133×4		159×4.5		219×6	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
0.5	70.8	1421												
0.6	84.9	2048.2												
0.7	99.1	2783.2												
0.8	113	3635.8												
0.9	127	4596.2												
1.0	142	5674.2	74.3	1038.8										
1.1	156	6869.8	81.8	1254.4										
1.2	170	8173.2	89.2	1489.6										
1.3	184	9594.2	96.6	1744.4										
1.4			104	2028.6										
1.5			111	2332.4										
1.6			119	2646	84.2	1068.2								
1.7			126	2989	89.5	1205.4								
1.8			134	3351.6	94.7	1352.4								
1.9			141	3373.8	100	1499.4	67.2	528.2						
2.0			149	4135.6	105	1666.0	70.8	585.1						
2.1			156	4566.8	111	1832.6	74.3	644.8						
2.2			164	5007.8	116	2018.8	77.9	707.6						
2.3			171	5478.2	121	2205	81.4	774.2						
2.4			178	5958.4	126	2401	84.9	842.8						
2.5			186	6468.0	132	2597	88.5	914.3						
2.6			193	6997.2	137	2812.6	92	989.8	58.9	305.8				
2.7			201	7546	142	2949.8	95.5	1068.2	61.2	329.3				
2.8			208	8114.4	147	3263.4	99.1	1146.6	63.4	354.8				
2.9			216	8702.4	153	3498.6	103	1234.8	65.7	380.2				
3.0			223	9310.0	158	3743.6	106	1313.2	67.9	406.7	47.2	161.7		
3.1			230	9947.0	163	3998.4	110	1401.4	70.2	434.1	48.8	172.5		
3.2			238	10593.8	168	4263.0	113	1499.4	72.5	462.6	50.3	183.3		
3.3			245	11270	174	4527.6	117	1597.4	74.7	492.0	51.9	195.0		
3.4			253	11956	179	4811.8	120	1695.4	77.0	522.3	53.5	206.8		
3.5			260	12671.4	184	5096	124	1793.4	79.3	553.7	55.1	218.5		

续表

公称直径	DN50		DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200	
外径×厚度（mm×mm）	57×3.5		76×3.5		89×3.5		108×4		133×4		159×4.5		219×6	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
3.6					189	5390	127	1891.4	81.5	586.0	56.5	224.4		
3.7					195	5693.8	131	1999.2	83.8	619.4	58.2	237.2		
3.8					200	6007.4	134	2116.8	86.1	652.7	59.8	250.9		
3.9					205	6330.8	138	2224.6	88.3	688	61.3	263.6	32.2	51.0

公称直径	DN100		DN125		DN150		DN200		DN250		DN300		DN350	
外径×厚度（mm×mm）	108×4		133×4		159×4.5		219×6		273×6		325×7		377×7	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
4.0	142	2342.2	90.6	723.2	62.9	277.3	33	53.9						
4.2	149	2577.4	95.1	979.7	66.1	305.8	34.7	58.8						
4.4	156	2832.2	100	875.1	69.2	336.1	36.4	64.7						
4.6	163	3096.8	104	956.5	72.3	366.5	38	70.6						
4.8	170	3371.2	109	1038.8	75.5	399.8	39.7	76.4						
5.0	177	3655.4	113	1127	78.6	433.2	41.3	83.3						
5.2	184	3959.2	118	1225	81.8	469.4	43	89.2						
5.4	191	4263	122	1323	84.9	505.7	44.6	97	28.5	29.4				
5.6	198	4586.4	127	1421	88.1	543.9	46.3	103.9	29.6	31.4				
5.8	205	4919.6	131	1519	91.2	583.1	47.9	110.7	30.6	33.3				
6.0	212	5262.6	136	1626.8	94.4	624.3	49.6	118.6	31.7	36.3				
6.2	219	5625.2	140	1734.6	97.5	666.4	51.2	126.4	32.7	38.2				
6.4	226	5987.8	145	1852.2	101	701.5	52.9	135.2	33.8	41.2				
6.6	234	6370	149	1969.8	104	755.6	54.5	143.1	34.8	43.1				
6.8	241	6762	154	2087.4	107	801.6	56.2	151.9	35.9	46.1				
7.0	248	7163.8	159	2214.8	110	849.7	57.8	156.8	36.9	49	26	19.6		
7.5	265	8310.4	170	2538.2	118	975.1	61.9	180.3	39.6	55.9	27.9	22.5		
8.0			181	2891	126	1107.4	66.1	204.8	42.2	62.7	29.7	25.5		
8.5			193	3263.4	134	1254.4	70.2	231.3	44.9	70.6	31.5	28.4		
9.0			204	3665.2	142	1401.2	74.3	259.7	47.5	79.4	33.4	32.3		
9.5			215	4076.8	149	1568	78.5	289.1	50.1	88.2	35.2	35.3		
10.0			226	4517.8	157	1734.6	82.6	320.5	52.8	98	37.1	39.2		
10.5			238	4988.2	165	1911	86.7	352.8	55.4	107.8	38.9	43.1	28.8	19.6
11.0			249	5468.4	173	2097.2	90.8	387.1	57.1	114.7	40.8	48	30.2	21.6
11.5			260	5978	181	2293.2	95	423.4	59.7	125.4	42.6	51.9	31.6	23.5
12.0			272	6507.2	189	2499	99.1	460.6	62.3	137.2	44.5	56.8	33	25.5
12.5			283	6869.8	197	2714.6	103	499.8	64.9	149	46.3	61.7	34.3	27.4

续表

公称直径	DN100		DN125		DN150		DN200		DN250		DN300		DN350	
外径×厚度（mm×mm）	108×4		133×4		159×4.5		219×6		273×6		325×7		377×7	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
13.0			294	7844	204	2930.2	107	541	67.5	160.7	48.2	66.6	35.7	29.4
13.5			306	8241.8	212	3165.4	111	583.1	70.1	173.5	50.1	71.5	37.1	32.3
14.0			317	8859.2	220	3400.6	116	627.2	72.7	186.2	51.9	76.4	38.5	34.3
14.5			328	9506	228	3645.6	120	673.3	75.3	199.9	53.8	82.3	39.8	37.2
15.0			340	10123.4	236	3900.4	124	720.3	77.9	213.6	55.6	88.2	41.2	39.2
16			362	11573.8	252	4439.4	132	819.3	83.1	243	58.5	97	43.8	45.1
17			384	13063.4	267	5507.8	140	925.1	88.3	274.4	62.2	109.8	46.7	51
18			408	14651	283	5615.4	149	1038.8	93.5	307.7	65.9	123.5	49.4	56.8

公称直径	DN200		DN250		DN300		DN350		DN400		DN450		DN500	
外径×厚度（mm×mm）	219×6		273×6		325×7		377×7		426×7		478×7		529×7	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
19	157	1156.4	98.7	343	69.5	137.2	52.2	62.7						
20	165	1283.8	104	380.2	73.2	151.9	54.9	69.6						
21	173	1411.2	109	419.4	76.8	167.6	56.4	74.5						
22	182	1548.4	114	459.6	80.5	184.2	59.1	82.3						
23	190	1695.4	119	502.7	84.2	200.9	61.8	89.2						
24	198	1842.4	125	546.8	87.8	218.5	64.5	97						
25	206	1999.2	130	590.9	91.8	237.2	67.1	105.8						
26	215	2165.8	135	641.9	95.1	256.8	69.8	114.7	54.2	60.8	42.8	33.3		
27	223	2332.4	140	692.9	98.8	276.4	72.5	123.5	56.3	65.7	44.4	35.3	36	20.6
28	231	2508.8	145	744.8	102	297.9	75.2	132.2	58.4	68.6	46	38.2	37.4	22.5
29	239	2695	151	798.7	106	319.5	77.9	142.1	60.5	73.5	47.7	41.2	38.7	23.5
30	248	2881.2	156	855.5	110	342	80.6	151.9	62.5	78.4	49.3	43.1	40	25.5
31	256	3077.2	161	973.4	113	364.6	83.3	162.9	64.6	84.3	51	46.1	41.4	27.4
32	264	3273.2	166	973.1	117	389.1	85.9	173.5	66.7	89.2	52.6	49	42.7	28.4
33	273	3488.8	171	1038.8	121	413.6	88.6	184.2	68.8	95.1	54.3	52.9	44	30.4
34	281	3694.6	177	1097.6	124	439	91.3	196	70.9	100.9	55.9	55.9	45.7	32.3
35	289	3920	182	1166.2	128	465.5	94	206.8	73	106.8	57.5	57.8	46.7	34.3
36	297	4145.4	187	1234.8	132	492	96.7	219.5	75.1	112.7	59.2	60.8	48	36.3
37	306	4380.6	192	1303.4	135	519.4	99.4	231.3	77.1	119.6	60.8	64.7	49.4	38.2
38	314	4625.6	197	1372	139	547.8	102	244	79.2	126.4	62.5	67.6	50.7	40.2
39	322	4870.6	203	1440.6	143	577.2	105	257.7	81.3	133.3	64.1	71.5	52.1	43.1

续表

公称直径	DN200		DN250		DN300		DN350		DN400		DN450		DN500	
外径×厚度（mm×mm）	219×6		273×6		325×7		377×7		426×7		478×7		529×7	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
40	330	5115.6	208	1519	146	607.6	107	270.5	83.4	140.1	65.7	75.5	53.4	45.1
41	339	5380.2	213	1597.4	150	638	110	284.2	85.5	147	67.4	79.4	54.7	47
42	347	5644.8	218	1675.8	154	669.3	113	298.9	87.6	153.9	69	83.3	56.1	49
43	355	5919.2	223	1754.2	157	701.7	115	312.6	89.6	161.7	70.7	87.2	57.4	50
44	363	6193.6	229	1842.4	161	735	118	327.3	91.7	168.6	72.3	91.1	58.7	52.9
45	372	6477.8	234	1920.8	165	769.3	121	343	93.8	176.4	74	95.1	60	54.9
46	380	6771.8	239	2009	168	803.6	124	357.7	95.9	185.2	75.6	99	61.4	57.8
47	388	7065.8	244	2097.2	172	838.9	126	373.4	98	193.1	77.3	103.9	62.7	59.8
48	396	7369.6	249	2185.4	176	875.1	129	390	100	200.9	78.9	107.8	64	62.7
49	405	7683.2	255	2283.4	179	911.4	132	405.7	102	209.7	80.5	112.7	65.4	65.7
50	413	7996.8	260	2371.6	183	949.6	134	423.4	104	218.5	82.2	117.6	66.7	68.6
52			270	2567.6	190	1029	140	457.7	108	236.2	85.5	127.4	69.4	73.5
54			281	2773.4	198	1107.4	145	492.9	113	254.8	88.8	137.2	72.1	79.4
56			291	2979.2	205	1185.8	150	530.2	117	273.4	92	147	74.7	82.3

公称直径	DN300		DN350		DN400		DN450		DN500		DN600		DN700	
外径×厚度（mm×mm）	325×7		377×7		426×7		478×7		529×7		630×7		720×8	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
58	212	1274	156	569.4	121	294	95.3	99	77.4	92.1	54.1	37.2		
60	220	1362.2	161	608.6	125	314.6	98.6	168.6	80.1	98	56	39.2		
62	227	1460.2	167	650.7	129	335.2	102	180.3	82.7	104.9	57.8	41.2		
64	234	1558.2	172	692.9	133	357.7	105	192.1	85.4	111.7	59.7	44.1		
66	241	1656.2	177	737	138	380.2	108	204.8	88.1	118.6	61.6	47		
68	249	1754.2	183	782.0	142	403.8	112	216.6	90.7	126.4	63.4	50		
70	256	1862	188	829.1	146	427.3	115	230.3	93.4	133.3	65.3	53		
72	263	1969.8	193	877.1	150	452.8	118	243.0	96.1	141.1	67.1	55.9		
74	271	2077.6	199	926.1	154	478.2	122	266.8	98.7	149	69	58.8		
76	278	2195.2	204	977.1	158	504.7	125	271.5	101	157.8	70.9	61.7		
78	285	2312.8	209	1029	163	631.2	128	285.2	104	165.6	72.7	64.7		
80	293	2430.4	215	1078	167	558.6	131	300	107	174.4	74.6	68.6		
85	311	2744	228	1225	177	631.1	140	339.1	113	197	79.3	77.4		
90	329	3077.2	242	1372	188	706.6	148	380.2	120	220.5	83.9	86.2		
95	348	3430	255	1528.8	198	787.9	156	423.4	127	246	88.6	97		
100			269	1695.4	208	873.4	164	469.4	133	272.4	93.3	106.8		
105			282	1862	219	962.4	173	517.4	140	300	97.6	117.6		

续表

公称直径	DN300		DN350		DN400		DN450		DN500		DN600		DN700	
外径×厚度（mm×mm）	325×7		377×7		426×7		478×7		529×7		630×7		720×8	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
110			295	2048.2	229	1058.4	181	567.4	147	324.4	103	129.4		
115			309	2234.4	240	1156.4	189	620.3	153	359.7	107	141.1	82.1	70.6
120			322	2440.2	250	1254.4	197	676.2	160	392	112	153.9	85.7	76.4
125			336	2646	261	1362.2	205	733	167	425.3	117	167.6	89.3	83.3
130			349	2861.6	271	1479.8	214	792.8	173	460.6	121	181.3	92.8	90.2
135			363	3087	281	1587.6	222	855.5	180	495.9	126	195	96.4	97
140			376	3312.4	292	1715	230	919.2	187	534.1	131	209.7	100	104.9
145			389	3557.4	302	1832.6	238	989.9	193	572.3	135	225.4	104	111.7
150			403	3802.4	313	1960	247	1058.4	200	612.5	140	241.1	107	120.5
155			416	4067	323	2097.2	255	1127	207	654.6	145	256.8	111	128.4
160			430	4331.6	334	2234.4	263	1205.4	213	696.8	149	274.4	114	139.2
165			443	4606	344	2371.6	271	1274	220	740.9	154	291.1	118	145
170			457	4890.2	354	2518.6	279	1352.4	227	786.9	159	309.7	121	153.9
175			470	5184.2	365	2675.4	288	144.6	233	834	163	327.3	125	163.7
180			483	5478.2	375	2832.2	296	1519	240	882	168	346.9	129	172.5
190			510	6595.4	396	3155.6	312	1695.4	253	980	177	386.1	136	193.1
200			537	6762	417	3488.8	329	1881.6	267	1087.8	187	428.3	143	213.6
210			564	6869.8	438	3851.4	345	2067.8	280	1205.4	196	471.4	150	235.2

公称直径	DN350		DN400		DN450		DN500		DN600		DN700		DN800	
外径×厚度（mm×mm）	377×7		426×7		478×7		529×7		630×7		720×8		820×8	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
220	591	8183	459	4223.8	362	2273.6	294	1313.2	205	517.4	157	25.7	120	129.4
230	618	8947.4	479	4615.8	378	2479.4	307	1440.6	214	566.4	164	282.2	126	141.1
240	645	9741.2	500	5027.4	394	2704.8	320	1568	224	616.4	171	307.7	131	153.9
250	671	10574.2	521	5458.6	411	2930.2	334	1705.4	233	668.4	178	333.2	137	166.6
260	698	11436.6	542	5899.6	427	3175.2	347	1842.4	242	723.2	186	360.6	142	180.3
270	725	12328.4	563	6360.2	444	3420.2	360	1989.4	252	780.1	193	389.1	148	195
280	752	13259.4	584	6840.4	460	3675	374	2136.4	261	838.9	200	418.5	153	209.7
290	779	14229.6	605	7340.2	477	3949.4	387	2293.4	270	899.6	207	448.8	159	224.4
300	805	15129.4	625	7859.6	493	4223.8	400	2450	280	963.3	214	480.2	164	240.1
310			646	8388.8	510	4508	414	2616.6	289	1029	221	512.5	170	256.8
320			667	8937.6	520	4802	421	2783.2	298	1097.6	228	545.9	175	273.4
330			688	9506	542	5105.8	440	2969.4	308	1166.2	236	581.1	181	291.1
340			709	10094	554	5419.4	454	3145.8	317	1234.8	243	616.4	186	308.7

续表

公称直径	DN350		DN400		DN450		DN500		DN600		DN700		DN800	
外径×厚度（mm×mm）	377×7		426×7		478×7		529×7		630×7		720×8		820×8	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
350			730	10691.8	575	5752.6	467	3332	326	1313.2	250	653.7	192	327.3
360			750	10819.2	592	6085.8	480	3528	336	1381.8	257	690.9	197	345.9
370			771	11946.2	608	6419	494	3724	345	1460.2	264	703.1	203	365.5
380			792	12602.8	625	6771.8	507	3929.8	354	1548.4	271	770.3	208	385.1
390			813	13279	641	7134.4	520	4145.4	364	1626.8	278	811.4	213	405.7
400					657	7506.8	534	4361	373	1715	286	853.6	219	427.3
410					674	7889	547	4576.6	382	1803.2	293	896.7	224	448.8
420					692	8281	560	4802	392	1891.4	300	940.8	230	471.4
430					707	8673	574	5037.2	401	1979.6	307	989.8	235	493.9
440							587	5272.4	410	2067.8	314	1029	241	517.4
450							600	5517.4	420	2165.8	321	1078	246	541
460							614	5762.4	429	2263.8	328	1127	252	565.5
470							627	6017.2	438	2361.8	336	1176	257	590
480							640	6272	448	2469.6	343	1225	263	615.4
490							654	6536.6	457	2567.6	350	1283.8	268	640.9
500							667	6811	466	2675.4	357	1332.8	274	667.4
520							694	7359.8	485	2891	371	1440.6	285	722.3
540							720	7938	504	3116.4	386	1558.2	296	779.1
560							747	8535.8	522	3351.6	400	1675.8	307	836.9
580							774	9163	541	3596.6	414	1793.4	318	898.7
600							801	9800	560	3851.4	428	1920.8	328	861.4
620							827	10466.4	578	4116	443	2048.2	339	1029

公称直径	DN450		DN500		DN600		DN700		DN800		DN900		DN1000	
外径×厚度（mm×mm）	478×7		529×7		630×7		720×8		820×8		920×8		1020×10	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
640			854	11152.4	597	4380.6	457	2185.4	350	1097.6	277	593.9	226	351.8
660					615	4664.8	471	2322.6	361	1166.2	286	632.1	234	373.4
680					634	4949	486	2469.9	372	1234.8	294	670.3	241	396.9
700					653	5243	500	2616.6	383	1313.2	303	710.5	248	420.4
720					671	5546.8	514	2763.6	394	1381.8	312	753.6	255	444.9
740					690	5860.4	528	2920.4	405	1460.2	320	793.8	262	469.4
760					709	6183.8	543	3077.2	416	1538.6	329	837.9	269	491.0
780					727	6507.2	557	3243.8	427	1626.8	338	882	276	522.0
800					746	6850.2	571	3410.4	438	1705.2	346	922.2	283	548.8

续表

公称直径	DN450		DN500		DN600		DN700		DN800		DN900		DN1000	
外径×厚度（mm×mm）	478×7		529×7		630×7		720×8		820×8		920×8		1020×10	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
820					765	7193.2	585	3586.8	449	1793.4	355	975.1	290	577.3
840					783	7546	600	3763.2	460	1881.6	364	1019.2	297	605.6
860					802	7908.6	614	3949.4	471	1979.6	372	1068.2	304	634.1
880					821	8281	628	4125.8	482	2067.8	381	1127	311	664.4
900					839	8663.2	643	4321.8	493	2165.8	390	1176	318	694.8
920					858	9055.2	657	4517.8	504	2263.8	398	1225	326	726.2
940					877	9457	671	4713.8	515	2316.8	407	1283.8	333	757.5
960					895	9858.8	685	4919.6	520	2459.8	416	1332.8	340	790.9
980							700	5125.4	536	2567.6	424	1391.6	347	824.2
1000							714	5331.2	547	2665.6	433	1450.4	354	857.5
1020							728	5546.8	558	2773.4	442	1509.2	361	892.8
1040							743	5772.2	569	2891	450	1568	368	928.1
1060							757	5997.6	580	2998.8	459	1626.8	375	963.3
1080							771	6223	591	3116.4	468	1695.4	382	999.6
1100							785	6458.2	602	3234	476	1754.2	389	1038
1150											498	1920.8	407	1136.8
1200											520	2087.4	425	1234.8
1250											541	2263.8	442	1342.6
1300											563	2450	460	1450.4
1350											585	2646	478	1568
1400											606	2842	495	1685.6
1450											628	3047.8	513	1803.2
1500											650	3263.4	531	1930.6
1550											671	3488.4	548	2058
1600											693	3714.2	566	2195.2
1650											714	3949.4	584	2332.4

注 Ra=0.2mm，ρ=1kg/m^3。

附录K　室外管网凝结水管道水力计算表

公称直径	DN25		DN32		DN40		DN50		DN65		DN80	
外径×厚度（mm×mm）	32×2.5		38×2.5		45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
0.2	0.10	11.9										
0.3	0.15	26.4	0.1	9.0								
0.4	0.20	45.4	0.14	15.8	0.09	5.7						
0.5	0.25	71.0	0.17	23.9	0.12	8.8						
0.6	0.30	102.2	0.20	34.4	0.14	12.5						
0.7	0.35	139.1	0.24	46.8	0.16	17.1	0.1	5.2				
0.8	0.41	181.7	0.27	61.2	0.18	21.6	0.12	6.8				
0.9	0.46	229.9	0.31	77.4	0.21	27.3	0.13	8.5				
1.0	0.51	283.9	0.34	95.6	0.23	33.8	0.15	10.5				
1.1	0.56	343.5	0.37	115.6	0.25	40.4	0.16	12.6				
1.2	0.61	408.8	0.41	137.6	0.28	48.6	0.18	14.6				
1.3	0.66	479.8	0.44	158.2	0.30	55.9	0.19	17.2				
1.4	0.71	556.4	0.47	187.4	0.32	66.2	0.21	19.9				
1.5	0.76	638.8	0.51	215.0	0.35	76.0	0.22	22.8	0.12	4.2		
1.6	0.81	726.8	0.54	244.7	0.37	86.4	0.24	26.0	0.12	4.8		
1.7	0.86	820.5	0.58	276.3	0.39	97.6	0.25	29.3	0.13	5.4		
1.8	0.91	919.8	0.61	309.7	0.42	109.5	0.27	32.8	0.14	6.0		
1.9	0.96	1024.8	0.64	345.1	0.44	122.0	0.28	36.7	0.15	6.7		
2.0	1.01	1135.5	0.68	382.3	0.46	135.1	0.30	40.6	0.16	7.4	0.11	3.2
2.1	1.06	1252.0	0.71	421.5	0.48	149.0	0.31	44.1	0.16	8.1	0.12	3.4
2.2	1.11	1374.1	0.75	462.6	0.51	163.5	0.32	49.1	0.17	8.7	0.12	3.6
2.3			0.78	505.6	0.53	178.7	0.34	53.6	0.18	9.5	0.13	3.9
2.4			0.81	550.6	0.55	194.5	0.35	58.4	0.19	10.4	0.13	4.2
2.5			0.85	597.4	0.58	211.1	0.37	63.4	0.19	11.3	0.14	4.6
2.6			0.88	646.1	0.60	228.3	0.38	68.6	0.20	12.2	0.14	5.0
2.7			0.92	696.8	0.62	246.2	0.40	73.9	0.21	13.1	0.15	5.4
2.8			0.95	749.3	0.65	264.8	0.41	79.5	0.22	14.1	0.15	5.8
2.9			0.98	803.8	0.67	284.0	0.43	85.3	0.22	15.1	0.16	6.2
3.0			1.02	860.2	0.69	304.0	0.44	91.2	0.23	16.2	0.16	6.6
3.1			1.05	918.6	0.72	324.6	0.46	97.5	0.24	17.2	0.17	6.9
3.2			1.08	978.7	0.74	345.8	0.47	103.9	0.25	18.4	0.18	7.4
3.3			1.12	1047.7	0.76	367.8	0.49	110.4	0.26	19.6	0.18	7.7

续表

公称直径	DN25		DN32		DN40		DN50		DN65		DN80	
外径×厚度（mm×mm）	32×2.5		38×2.5		45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
3.4			1.15	1105.0	0.78	390.4	0.50	117.2	0.26	20.8	0.19	8.2
3.5					0.81	413.8	0.52	124.3	0.27	22.1	0.19	8.7
3.6					0.83	437.7	0.53	131.4	0.28	23.3	0.20	9.2

公称直径	DN40		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
外径×厚度（mm×mm）	45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5		108×4		133×4	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
3.7	0.85	462.4	0.55	138.9	0.29	24.6	0.20	9.8	0.14	3.5		
3.8	0.88	487.6	0.56	146.4	0.29	26.0	0.21	10.3	0.14	3.7		
3.9	0.90	513.7	0.58	154.3	0.30	27.3	0.21	10.9	0.14	3.9		
4.0	0.92	540.4	0.59	162.3	0.31	28.8	0.22	11.4	0.15	4.1		
4.2	0.97	595.7	0.62	178.9	0.33	31.8	0.23	12.5	0.16	4.5	0.1	1.4
4.4	1.02	653.9	0.65	196.3	0.34	34.8	0.24	13.8	0.16	4.9	0.1	1.6
4.6	1.06	714.6	0.68	214.6	0.36	38.0	0.25	15.1	0.17	5.2	0.11	1.7
4.8	1.11	778.1	0.71	233.6	0.37	41.5	0.26	16.5	0.18	5.7	0.11	1.8
5.0	1.15	844.4	0.74	253.5	0.39	45.0	0.27	17.8	0.18	6.2	0.12	1.9
5.2	1.20	912.6	0.77	274.2	0.40	48.6	0.29	19.3	0.19	6.7	0.12	2.2
5.4	1.25	984.9	0.80	285.8	0.42	52.4	0.30	20.8	0.20	7.2	0.13	2.3
5.6			0.83	318.0	0.43	56.4	0.31	22.3	0.21	7.7	0.13	2.5
5.8			0.86	341.1	0.45	60.5	0.32	24.0	0.21	8.3	0.14	2.6
6.0			0.89	365.0	0.47	64.6	0.33	25.7	0.22	8.9	0.14	2.8
6.2			0.92	389.8	0.48	69.1	0.34	27.4	0.23	9.5	0.15	2.9
6.4			0.95	415.4	0.50	73.6	0.35	29.2	0.24	10.1	0.15	3.1
6.6			0.97	441.8	0.51	78.3	0.36	31.1	0.24	10.8	0.16	3.3
6.8			1.00	468.9	0.53	83.1	0.37	33.0	0.25	11.5	0.16	3.6
7.0			1.03	497.0	0.54	88.1	0.38	35.0	0.26	12.2	0.17	3.7
7.5			1.11	570.5	0.58	101.1	0.41	40.1	0.28	13.9	0.18	4.2
8.0			1.18	649.1	0.62	115.1	0.44	45.7	0.30	11.4	0.19	4.8
8.5			1.26	732.7	0.66	130.0	0.47	51.5	0.31	17.8	0.20	5.4
9.0			1.33	821.4	0.70	145.6	0.48	57.8	0.33	20.0	0.21	6.1
9.5			1.40	915.3	0.74	162.3	0.52	64.4	0.35	22.2	0.22	6.8
10.0			1.48	1014.2	0.78	179.8	0.55	71.3	0.37	24.7	0.24	7.5
10.5					0.81	198.3	0.58	78.7	0.39	27.2	0.25	8.3
11.0					0.85	217.6	0.60	86.3	0.41	29.9	0.26	9.1
11.5					0.89	237.7	0.63	94.4	0.42	32.6	0.27	9.9

续表

公称直径	DN40		DN50		DN65		DN80		DN100		DN125	
外径×厚度（mm×mm）	45×2.5		57×3.5		76×3.5		89×3.5		108×4		133×4	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
12.0					0.93	258.9	0.66	102.7	0.44	35.6	0.28	10.8
12.5					0.97	280.9	0.69	115.0	0.46	38.6	0.30	11.8
13.0					1.01	303.8	0.71	120.5	0.48	41.7	0.31	12.7
13.5					1.05	327.6	0.74	130.0	0.50	45.0	0.32	13.7
14.0					1.09	352.4	0.77	139.8	0.52	48.4	0.33	14.7
14.5					1.12	378.0	0.80	149.9	0.54	51.9	0.34	15.8
15.0					1.16	404.5	0.82	160.5	0.55	55.6	0.35	17.0

公称直径	DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200	
外径×厚度（mm×mm）	76×3.5		89×3.5		108×4		133×4		159×4.5		219×6	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
16	1.24	460.2	0.88	182.6	0.59	63.2	0.38	19.2	0.26	7.3		
17	1.32	519.6	0.93	206.2	0.63	71.3	0.40	21.8	0.28	8.2		
18	1.40	582.5	0.99	231.1	0.66	80.1	0.43	24.4	0.30	9.2		
19	1.47	649.1	1.04	277.1	0.70	89.2	0.45	27.1	0.31	10.3		
20	1.55	719.1	1.10	285.4	0.74	98.8	0.47	30.1	0.33	11.4	0.17	2.1
21	1.63	792.8	1.15	314.6	0.78	109.0	0.50	33.1	0.34	12.5	0.18	2.3
22	1.71	870.1	1.21	345.3	0.81	119.6	0.52	36.4	0.36	13.8	0.19	2.5
23	1.78	951.1	1.26	377.4	0.85	130.6	0.54	39.8	0.38	15.1	0.20	2.7
24	1.86	1035.6	1.32	410.9	0.89	142.3	0.57	43.3	0.39	16.4	0.21	2.9
25			1.37	445.8	0.92	154.4	0.59	46.9	0.41	17.8	0.22	3.2
26			1.43	482.3	0.96	167.0	0.61	50.9	0.43	19.3	0.22	3.5
27			1.48	520.1	1.00	180.1	0.64	54.8	0.44	20.8	0.23	3.7
28			1.54	559.3	1.03	193.6	0.66	58.9	0.46	22.3	0.24	4.0
29			1.59	600.0	1.07	207.8	0.69	63.2	0.48	24.0	0.25	4.3
30			1.65	642.0	1.11	222.4	0.71	67.6	0.49	25.7	0.26	4.6
31			1.70	685.5	1.14	237.4	0.73	72.2	0.51	27.3	0.27	5.0
32			1.76	730.5	1.18	252.9	0.76	76.9	0.53	29.2	0.28	5.3
33			1.81	776.8	1.22	269.0	0.78	81.8	0.54	31.1	0.28	5.6
34			1.87	824.7	1.26	285.6	0.80	86.9	0.56	32.9	0.29	6.0
35			1.92	873.9	1.29	302.6	0.83	92.1	0.57	34.9	0.30	6.3
36			1.98	924.5	1.33	320.2	0.85	97.4	0.59	36.9	0.31	6.7
37			2.03	976.6	1.37	338.2	0.87	102.9	0.61	39.0	0.32	7.1
38			2.09	1030.1	1.40	356.7	0.90	108.6	0.62	41.2	0.33	7.4
39					1.44	375.7	0.92	114.4	0.64	43.3	0.34	7.8

续表

公称直径	DN65		DN80		DN100		DN125		DN150		DN200	
外径×厚度（mm×mm）	76×3.5		89×3.5		108×4		133×4		159×4.5		219×6	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
40					1.48	395.2	0.95	120.2	0.66	45.6	0.34	8.2
41					1.51	415.2	0.97	126.3	0.67	47.9	0.35	8.6
42					1.55	435.8	0.99	132.6	0.69	50.3	0.36	9.1
43					1.59	456.8	1.02	139.0	0.71	52.7	0.37	9.5
44					1.62	478.2	1.04	145.5	0.72	55.2	0.38	10.0
45					1.66	500.2	1.06	152.2	0.74	57.7	0.39	10.5
46					1.70	522.7	1.09	159.1	0.75	60.3	0.40	10.9
47					1.74	545.7	1.11	166.0	0.77	62.9	0.40	11.4
48					1.77	569.2	1.13	173.2	0.79	65.7	0.41	11.8
49					1.81	593.1	1.16	180.5	0.80	68.4	0.42	12.3
50					1.85	617.6	1.18	188.0	0.82	71.2	0.43	12.8

公称直径	DN125		DN150		DN200		DN250		DN300		DN350	
外径×厚度（mm×mm）	133×4		159×4.5		219×6		273×6		325×7		377×7	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
52	1.23	203.3	0.85	77.0	0.45	13.9	0.28	4.1				
54	1.28	219.2	0.89	83.1	0.47	15.0	0.29	4.4				
56	1.32	235.7	0.92	89.4	0.48	16.2	0.30	4.7				
58	1.37	252.8	0.95	95.8	0.50	17.3	0.31	5.1				
60	1.42	270.6	0.98	102.6	0.52	18.5	0.33	5.4				
62	1.47	289.0	1.02	109.6	0.53	19.8	0.34	5.8				
64	1.51	307.9	1.05	116.7	0.55	21.1	0.35	6.2				
66	1.56	327.4	1.08	124.1	0.57	22.4	0.36	6.6				
68	1.61	347.6	1.12	131.7	0.59	23.8	0.37	7.0				
70	1.65	368.4	1.15	139.7	0.60	25.3	0.38	7.4				
72	1.70	389.6	1.18	147.7	0.62	26.8	0.39	7.8				
74	1.75	411.6	1.21	156.0	0.64	28.2	0.40	8.2				
76	1.80	434.1	1.25	164.5	0.65	29.8	0.41	8.7				
78	1.84	457.4	1.28	173.4	0.67	31.4	0.42	9.2				
80	1.89	481.1	1.31	182.4	0.69	33.0	0.43	9.7				
85	2.01	543.1	1.39	205.9	0.73	37.2	0.46	10.9				
90	2.13	608.9	1.48	230.8	0.78	41.7	0.49	12.3				
95	2.24	678.5	1.56	257.2	0.82	46.6	0.51	13.6				
100			1.64	284.9	0.86	51.5	0.54	15.1	0.38	6.0	0.28	2.6
105			1.72	314.1	0.90	56.8	0.57	16.7	0.40	6.6	0.29	2.9

续表

公称直径	DN125		DN150		DN200		DN250		DN300		DN350	
外径×厚度（mm×mm）	133×4		159×4.5		219×6		273×6		325×7		377×7	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
110			1.81	344.7	0.95	62.3	0.60	18.2	0.42	7.3	0.31	3.2
115			1.89	376.8	0.99	68.2	0.62	20.0	0.44	7.9	0.32	3.5
120			1.97	410.3	1.03	74.2	0.65	21.8	0.46	8.6	0.34	3.8
125			2.05	445.2	1.08	80.6	0.68	23.6	0.48	9.3	0.35	4.1
130			2.13	481.5	1.12	87.1	0.70	25.5	0.50	10.1	0.36	4.5
135			2.22	519.3	1.16	94.0	0.73	27.5	0.52	10.9	0.38	4.8
140			2.30	558.4	1.21	101.0	0.76	29.6	0.53	11.8	0.39	5.2
145			2.38	599.1	1.25	108.4	0.79	31.8	0.55	12.5	0.41	5.6
150			2.46	641.1	1.29	115.9	0.81	34.0	0.57	13.4	0.42	6.0
155			2.54	684.5	1.34	123.9	0.84	36.3	0.59	14.4	0.43	6.4
160			2.63	729.4	1.38	132.0	0.87	38.7	0.61	15.3	0.45	6.8
165			2.71	775.7	1.42	142.3	0.89	41.2	0.63	16.3	0.46	7.1
170			2.79	823.4	1.46	149.0	0.92	43.6	0.65	17.2	0.48	7.6
175			2.87	872.6	1.51	157.9	0.95	46.3	0.67	18.3	0.49	8.1
180			2.95	923.2	1.55	167.0	0.98	48.9	0.69	19.4	0.50	8.5

公称直径	DN200		DN250		DN300		DN350		DN200		DN250	
外径×厚度（mm×mm）	219×6		273×6		325×7		377×7		219×6		273×6	
G（t/h）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）	v（m/s）	R（Pa/m）
190	1.64	186.1	1.03	54.5	0.73	21.6	0.53	9.5				
200	1.72	206.2	1.08	60.4	0.76	23.9	0.56	10.6				
210	1.81	227.3	1.14	66.6	0.80	26.4	0.59	11.7				
220	1.90	249.5	1.18	73.1	0.84	28.9	0.62	12.8				
230	1.98	272.6	1.25	79.9	0.88	31.7	0.64	14.0				
240	2.07	297.0	1.30	87.0	0.92	34.4	0.67	15.2				
250	2.15	322.1	1.36	94.4	0.95	37.3	0.70	16.6	0.54	8.4	0.43	4.3
260	2.24	348.4	1.41	102.1	0.99	40.4	0.73	17.8	0.57	9.1	0.45	4.9
270	2.33	375.7	1.46	110.1	1.03	43.6	0.76	19.3	0.59	9.9	0.46	5.3
280	2.41	404.2	1.52	118.4	1.07	46.8	0.78	20.7	0.61	10.6	0.48	5.7
290	2.50	433.5	1.57	127.0	1.11	50.3	0.81	22.2	0.63	11.4	0.50	6.1
300	2.59	463.9	1.63	135.9	1.15	53.8	0.84	23.8	0.65	12.2	0.51	6.5
310	2.67	495.3	1.68	145.1	1.18	57.4	0.87	25.4	0.67	13.0	0.53	7.0
320			1.73	154.6	1.22	61.3	0.90	27.0	0.70	13.9	0.55	7.4
330			1.79	164.4	1.26	65.1	0.92	28.8	0.72	14.8	0.57	7.8
340			1.84	174.5	1.30	69.1	0.95	30.6	0.74	15.7	0.58	8.3

续表

公称直径	DN200		DN250		DN300		DN350		DN200		DN250	
外径×厚度（mm×mm）	219×6		273×6		325×7		377×7		219×6		273×6	
G（t/h）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）	*v*（m/s）	*R*（Pa/m）
350			1.90	185.0	1.34	73.2	0.98	32.3	0.76	16.6	0.60	8.9
360			1.95	195.7	1.37	77.5	1.01	34.2	0.78	17.5	0.62	9.4
370			2.01	206.8	1.41	81.8	1.04	36.2	0.80	18.5	0.63	9.9
380			2.06	218.1	1.45	86.3	1.06	38.1	0.83	19.6	0.65	10.5
390			2.11	229.7	1.49	90.9	1.09	40.2	0.85	20.6	0.67	11.0
400			2.17	241.7	1.53	95.6	1.12	42.2	0.87	21.7	0.69	11.6
410			2.22	253.9	1.57	100.5	1.15	44.4	0.89	22.7	0.70	12.2
420			2.28	266.4	1.60	105.4	1.18	46.6	0.91	23.9	0.72	12.7
430			2.33	279.2	1.64	110.5	1.20	48.9	0.94	25.1	0.74	13.4
440			2.39	292.3	1.68	115.7	1.23	51.2	0.96	26.3	0.75	14.0
450			2.44	305.9	1.72	121.0	1.26	53.5	0.98	27.4	0.77	14.7
460			2.49	319.6	1.76	126.5	1.29	56.0	1.00	28.7	0.79	15.3
470			2.55	333.6	1.79	132.1	1.32	58.4	1.02	29.9	0.81	16.0
480			2.60	348.0	1.83	137.8	1.34	60.9	1.04	31.3	0.82	16.7
490			2.66	362.6	1.87	143.6	1.37	63.4	1.07	32.5	0.84	17.3
500			2.71	377.6	1.91	149.5	1.40	66.1	1.09	33.9	0.86	18.1
520			2.82	408.4	1.99	161.7	1.46	71.4	1.13	36.7	0.89	19.6
540			2.93	440.4	2.06	174.3	1.51	77.0	1.17	39.5	0.93	21.1
560			3.04	473.6	2.14	187.5	1.57	82.9	1.22	42.5	0.96	22.7

注　ρ=958.4kg/m^3，*Ra*=1.0mm，*t*=100℃。

主要量的符号及其计量单位

量的名称	符号	计量单位	量的名称	符号	计量单位
时间	t	s，min，h，d	单位散热量	q	W/m^2
速度	v	m/s	转速	n	r/min
长度	L（l）	m	扬程	H	kPa
宽度	B（b）	m	功率	P	W，kW
高度	H（h）	m	效率	η	%
厚度	δ	mm	蒸汽流量	D	kg/h，t/h
直径	D	m	气体流量	L	kg/h，m^3/h
半径	r	m	水流量	G	t/h，m^3/h
曲率半径	R	m	流量系数	μ	
面积	A	m^2	比摩阻	R	Pa/m
体积、容积	V	m^3	动力黏度	μ	Pa·s
质量	m	kg	运动黏度	v	m^2/s
密度	ρ	kg/m^3	绝对粗糙度	Ra	mm
压力	p	Pa，kPa	局部阻力系数	ζ	
大气压力	p	hPa	太阳总辐射照度	J	W/m^2
摄氏温度	t	℃	相对湿度	φ	%
热力学温度	T	K	绝对湿度、含湿量	d	g/kg
温升（温差）	Δt	℃	热湿比	ε	kJ/kg
热量（冷量）	Q	W，kW，MW	力	F	N
热（冷）指标	q	W/m^2	力矩	M	N·m
比热容	c	kJ/（kg·℃）	应力	σ	MPa
比焓	h	kJ/kg	重力加速度	g	m/s^2
汽化潜热	r	kJ/kg	弹性模量	E	N/m^2，MPa
导热系数	λ	W/（m·℃）	线膨胀系数	α	m/（m·℃）
传热系数	K	W/（m^2·℃）	惯性矩	I	cm^4
表面传热系数	α	W/（m^2·℃）	含尘浓度	M	mg/m^3
热阻	R	（m^2·℃）/W	摩擦系数	λ	

参 考 文 献

[1] 李善化，康慧，孙相军，等．火力发电厂及变电所供暖通风空调设计手册．北京：中国电力出版社，2001．
[2] 杨旭中，郭晓克，康慧．热电联产规划设计手册．北京：中国电力出版社，2009．
[3]《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南》编委会．民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南．北京：中国建筑工业出版社，2013．
[4] 李善化，康慧，等．实用集中供热手册．北京：中国电力出版社，2014．
[5] 孙刚，王飞，等．供热工程．4 版．北京：中国建筑工业出版社，2009．
[6] 陆耀庆．实用供热空调设计手册．2 版．北京：中国建筑工业出版社，2008．
[7] 电子工业部第十设计研究院．空气调节设计手册．2 版．北京：中国建筑工业出版社，2005．
[8] 黄翔．蒸发冷却空调理论与应用，北京：中国建筑工业出版社，2010．
[9] 中国有色金属工业协会．工业建筑供暖通风与空气调节设计规范．北京：水利计划出版社，2015．
[10] 能源部西北电力设计院．电力工程电气设计手册：电气二次部分．北京：中国电力出版社，1991．
[11] 水利电力部西北电力设计院．电力工程电气设计手册：电气一次部分．北京：中国电力出版社，1989．
[12] 全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处．全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试复习教材．3 版．北京：中国建筑工业出版社，2013．
[13] 中国建筑标准设计研究院．全国民用建筑工程设计技术措施（暖通空调·动力）．北京：中国计划出版社，2009．
[14] 张利燕．电力设备用 SF_6 气体技术问答．北京：中国电力出版社，2011．
[15]《火力发电厂采暖通风除尘设计手册》编写组．火力发电厂采暖通风除尘设计手册．北京：水利电力出版社，1979．
[16] 徐伟．民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南．北京：中国建筑工业出版社，2012．
[17] 陈沛霖．空调与制冷技术手册．上海：同济大学出版社，1999．
[18]《压缩空气站设计手册》编写组．压缩空气站设计手册．北京：机械工业出版社，1993．
[19] Industrial Ventilation Committee. INDUSTRIAL VENTILATION A Manual of Recommended Practice for Design. 27th ed. Cincinnati: ACGIH，2010．